



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY

INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

**NÁVRH POSTUPU KONTROLY VYBRANÝCH SOUČÁSTÍ
REVOLVERU**

DESIGN OF INSPECTION PROCEDURE FOR SELECTED REVOLVER COMPONENTS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Eva Úlehlová

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Róbert Jankových, CSc.

BRNO 2020

Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Studentka: **Bc. Eva Úlehlová**
Studijní program: Strojní inženýrství
Studijní obor: Kvalita, spolehlivost a bezpečnost
Vedoucí práce: **doc. Ing. Róbert Jankových, CSc.**
Akademický rok: 2019/20

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Návrh postupu kontroly vybraných součástí revolveru

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

V praxi výrobce je požadováno zlepšení postupu kontroly vybraných součástí.

Úkolem je zpracování analýzy procesu měření a předložení návrhu opatření pro jeho zlepšení. Práce bude zahrnovat návrh upínacích, příp. měřících přípravků.

Cíle diplomové práce:

Popis současného stavu kontroly vybraných součástí revolveru.

Systémový rozbor problému hodnocení procesu měření při výrobě.

Návrh součástí revolveru a zdůvodnění změn postupu jejich měření.

Aplikace navržených postupů měření na zvolených součástech.

Technické posouzení naměřených výsledků.

Vlastní závěry a doporučení pro praxi.

Seznam doporučené literatury:

MEADOWS, James D. Measurement of geometric tolerances in manufacturing. New York: Marcel Dekker, 1998. ISBN 978-082-4701-635.

CURTIS, Mark A. and Francis T. FARAGO. Handbook of dimensional measurement. Fifth edition. South Norwalk: Industrial Press, 2014. ISBN 978-0-8311-3465-5.

COLOSIMO, Bianca M. Geometric tolerances: impact on product design, quality inspection and statistical process monitoring. London: Springer, 2011. ISBN 978-1-84996-310-7.

MURALIKRISHNAN, Bala and J. RAJA. Computational surface and roundness metrology. New York: Springer, 2009. ISBN 978-1-84800-296-8.

NEUMANN, Hans Joachim, Mathias ANDRÄS, Ralf CHRISTOPH, et al. Präzisionsmesstechnik in der Fertigung mit Koordinatenmessgeräten: Entwicklung - Normung - Grundlagen - Messunsicherheit - Anwendungserfahrung - Auswahlkriterien - Ausbildung. Renningen: Expert, 2004. ISBN 38-169-22-1-2.

Analýza systémů měření: příručka. Čtvrté vydání. Přeložil Ivana PETRAŠOVÁ. Praha: Česká společnost pro jakost, 2010. ISBN 978-80-02-02326-5.

ŽUK, Aleksandr Borisovič. Revolvery a pistole. 2. dopl. vyd. Praha: Naše vojsko, 1993. ISBN 80-20-0364-6.

Mouret, Jean-Noel. Revolvery a pistole: Svět krátkých palných zbraní. Praha: Rebo, 1994. ISBN 80-85815-33-8.

JANKOVÝCH, Róbert. Hlavňové zbraně a střelivo. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2012. ISBN 978-80-260-2384-5.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2019/20

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Úkolem této diplomové práce bylo navrhnout změny v kontrolních postupech kohoutu a spouště konkrétního modelu revolveru. Práce byla vypracována ve spolupráci s firmou vyrábějící revoly. V teoretické části byly popsány vybrané postupy metodiky MSA, která slouží k posouzení přijatelnosti systémů měření. V praktické části byl popsán a statisticky posouzen stávající systém měření ve firmě za využití analýzy opakovatelnosti a reprodukovatelnosti měřidel. Bylo potvrzeno, že stávající systém měření vyžaduje zlepšení. Poté byly navrženy souřadné systémy, odvozeny od funkčních prvků kohoutu a spouště, na jejichž základě bylo realizováno automatizované optické měření. Výsledky tohoto měření byly opět posouzeny analýzou opakovatelnosti a reprodukovatelnosti měřidla. Výsledky analýzy naměřených hodnot potvrdily zlepšení přijatelnosti navržených systémů měření. Na základě výsledků bylo doporučeno aplikovat navržené postupy v praxi. Výsledky a doporučení diplomové práce mohou přispět k rozvoji metrologie ve firmě a zlepšit stávající systém měření.

ABSTRACT

The goal of this master's thesis was design of the inspection procedure for hammer and trigger of the specific revolver model. Thesis was developed in cooperation with the manufacturer of the revolvers. The theoretical part deals with the MSA methodology, which is used to assess acceptability of measurement systems. The practical part describes the current measurement system and performs gage repeatability and reproducibility study. It was confirmed that the current measurement system requires improvement. Subsequently coordinate systems were designed, based on functional features of the hammer and trigger. Automated optical measurements, based on the coordinate systems, were performed. The results from these measurements were again assessed by the gage R&R study. The analysis confirmed improvement of acceptability of the designed measurement systems. Based on these results, it is recommended to apply suggested procedures in practice. Results and recommendations of this master's thesis can contribute to develop metrology in the company and improve the existing measurement system.

KLÍČOVÁ SLOVA

revolver, kohout, spoušť, analýza měřicího systému, analýza opakovatelnosti a reprodukovatelnosti měřidla, MSA, ANOVA, optické měření

KEYWORDS

revolver, hammer, trigger, measurement system analysis, Gage R&R, MSA, ANOVA, optical measurement

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ÚLEHLOVÁ, E. *Návrh postupu kontroly vybraných součástí revolveru*, Brno, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. 2020, 116 s., Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Róbert Jankových, CSc.

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji mému vedoucímu doc. Róbertovi Jankových za jeho pomoc a cenné rady při tvorbě této práce, dále děkuji panu Janu Sikorovi a Janu Falešníkovi za umožnění provedení optických měření na přístrojích DeMeet 220 a Keyence IM-7020.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracovala jsem ji samostatně pod vedením doc. Ing. Róberta Jankových, CSc. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 26.6.2020

.....

Úlehlová Eva

OBSAH

1	ÚVOD	15
2	MOTIVACE	17
3	ANALÝZA SYSTÉMU MĚŘENÍ	19
3.1	Statistické vlastnosti systému měření	20
3.2	Celková variabilita	23
3.3	Metoda opakovatelnosti a reprodukovatelnosti měřidla	24
3.3.1	Metoda založená na rozpětí	24
3.3.2	Metoda založená na průměru a rozpětí	25
3.3.3	Metoda ANOVA	27
3.3.4	Grafická analýza	29
3.3.5	Analýza studií GRR	31
3.3.6	Software pro výpočet opakovatelnosti a reprodukovatelnosti	32
4	VÝBĚR SOUČÁSTÍ REVOLVERU	33
4.1	Základní klasifikace revolverů	33
4.2	Princip funkce mechanismu	33
4.2.1	Spoušťové a bicí ústrojí	34
4.2.2	Dvojčinný režim	35
4.2.3	Jednočinný režim	35
4.2.4	Rám revolveru	37
5	POPIS KONTROLY VYBRANÝCH SOUČÁSTÍ	39
5.1	Měřicí vybavení	39
5.1.1	Výškoměr s páčkovým úchylkoměrem	39
5.1.2	Optický měřicí mikroskop	39
5.1.3	Sada válečkových měrek	40
5.1.4	Sada koncových měrek	40
5.1.5	Souřadnicový měřicí stroj DeMeet 400	40
5.2	Kontrola kohoutu	40
5.2.1	Postup měření pomocí výškoměru s páčkovým úchylkoměrem	41
5.2.2	Postup měření na optickém měřicím mikroskopu	42
5.2.3	Vyhodnocení měření	43
5.3	Kontrola spouště	44
5.3.1	Postup měření pomocí výškoměru s páčkovým úchylkoměrem	45
5.3.2	Postup měření na optickém měřicím mikroskopu	46
5.3.3	Vyhodnocení měření	46
6	ANALÝZA MĚŘENÍ	47
6.1	Postupy měření	47
6.2	Měřidla	47
6.3	Rozhodnutí o shodě či neshodě se specifikací	47
6.4	Povrch a tvar součástí	47
6.5	Vyrovnání kohoutu	49
6.6	Přípravek pro spoušť	50
6.7	Hodnocení tvaru součástí	50
6.8	Realizace analýzy GRR	52
6.8.1	Postup v softwaru Minitab	52
6.8.2	Analýza výsledků	53

6.8.3	Shrnutí analýzy	58
7	ZMĚNY POSTUPU MĚŘENÍ VYBRANÝCH SOUČÁSTÍ	61
7.1	Měření stávajících rozměrů kohoutu optickými metodami	61
7.1.1	Měření na stroji Keyence IM-7020	61
7.1.2	Měření na stroji DeMeet 220	64
7.2	Změna souřadného systému spouště	67
7.3	Hodnocení tvaru součástí	70
7.4	Změna odlitku.....	71
7.5	Přípravek pro měření spouště	72
7.6	Shrnutí	72
8	DOPORUČENÍ PRO PRAXI	75
9	ZÁVĚR.....	77
10	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....	79
11	SEZNAM TABULEK, OBRÁZKŮ, ZKRATEK A SYMBOLŮ.....	83
11.1	Seznam tabulek.....	83
11.2	Seznam obrázků.....	84
11.3	Seznam použitých zkratk a symbolů	86
12	SEZNAM PŘÍLOH.....	89
A	NAMĚŘENÁ DATA VE FIRMĚ	91
B	VÝSLEDKY ANALÝZY GRR VE FIRMĚ	94
C	NAMĚŘENÁ DATA KEYENCE IM-7020.....	104
D	VÝSLEDKY ANALÝZY GRR KEYENCE IM-7020.....	105
E	NAMĚŘENÁ DATA DEMEET 220	106
F	VÝSLEDKY ANALÝZY GRR DEMEET 220	107
G	VYBAVENÍ ODDĚLENÍ TECHNICKÉ KONTROLY	113

1 ÚVOD

Ve zbrojním průmyslu hraje přesnost součástí mechanismů zbraně a jejich plynulý chod důležitou roli. Jakékoliv nedokonalosti mechanismu mohou způsobit různé závady, které mohou zapříčinit i fatální následky.

Přijatelnou míru odchylek od předepsaných rozměrů a ideální geometrie předepisuje konstruktér již při návrhu součástí. Měření je zásadní článek mezi konstruktérovým záměrem a skutečným produktem. Proto musí být poskytnuta detailní specifikace součástí, především formou dostatečně a správně kótovaných a tolerovaných výkresů. [1]

Stále častěji jsou při návrzích specifikace využívány geometrické tolerance, které jsou považovány za strategický prvek při zajištění určité úrovně kvality součástí. Na zavádění takových změn musí adekvátně reagovat také kontrola kvality. Tradiční postupy pro kontrolu délkových rozměrů však nemusí být dostačující a s rozvojem geometrických tolerancí je třeba rozvíjet i kontrolu součástí budováním dokonalejších systémů měření. [2]

Tato diplomová práce je zaměřena na charakteristiky a hodnocení zavedeného systému měření ve firmě vyrábějící revolvery, přičemž mezi její cíle patří popis a systémový rozbor stávajícího systému měření, výběr vhodných součástí mechanismu a návrh jejich nového postupu měření. Dále technické posouzení naměřených výsledků a formulace zdůvodněných doporučení pro praxi.

Firma vyrábějící revolvery, která je v této práci anonymizována, požaduje zlepšení postupu kontroly součástí při výrobě revolveru. Kontrola vybraných součástí je důležitým faktorem jak pro správné nastavení výrobního procesu, tak i pro funkční a souvislý chod příslušného mechanismu revolveru. Výrobce v budoucnu požaduje úplnou montážní zaměnitelnost součástí mechanismu a také zlepšení procesu mezioperační kontroly.

Diplomová práce je rozdělena na úvod, sedm kapitol a závěr. Druhá kapitola popisuje stávající problém a požadavky výrobce. Ve třetí kapitole jsou popsány teoretické základy hodnocení systému měření metodikou MSA a různé postupy pro stanovení ukazatelů opakovatelnosti a reprodukovatelnosti systému měření.

Ve čtvrté kapitole je analyzováno zvolené spoušťové a bicí ústrojí revolveru a je proveden výběr funkčně důležitých součástí (kohoutu a spouště) vhodných pro zavedení změn v jejich postupu měření. V kapitole číslo pět je popsán stávající postup kontroly kohoutu a spouště různými operátory a různými měřidly.

V šesté kapitole je provedena analýza stávajících postupů měření, přičemž za využití analýzy opakovatelnosti a reprodukovatelnosti jsou odhaleny zdroje variability ve stávajícím systému měření. Kapitola obsahuje postup analýzy včetně jejího numerického a grafického vyhodnocení.

Dále jsou v sedmé kapitole navrženy možné změny v postupech měření kohoutu a spouště. V rámci automatizovaného optického měření je hodnocena jeho proveditelnost analýzou opakovatelnosti a reprodukovatelnosti nových systémů měření.

V osmé kapitole jsou formulována doporučení pro praxi, které mimo návrhy nových postupů optického měření zahrnují také poznatky, získané při analýze měření a realizaci optických měření, které by mohly vést ke zlepšení systému měření.

2 MOTIVACE

Firma vyrábějící revolvery, dále jen firma, řeší potíže při finální montáži mechanismu revolveru, při které není zajištěna úplná montážní zaměnitelnost součástek, dále jen zaměnitelnost. Často pak není možné použít vybranou součást v mechanismu. Aby bylo možno součást použít, dochází k jejímu pilování a broušení, což má v praxi významný vliv na provozní zaměnitelnost součástí. Navíc se tak zvyšuje časová náročnost na složení mechanismu společně se vznikem zmetků. Výrobce aktuálně popisuje problém především s kohouty a spouštěmi, u kterých vzniká vysoké množství neshodných výrobků. Z důvodu jejich složité geometrie je náročné ověřit jejich shodu se specifikacemi.

Stávající systém měření neplní hlavní úlohu z hlediska řízení kvality a nekontroluje funkčnost výstupních součástí, systém měření je nastaven především na kontrolu výrobního procesu. Funkční rozměry jsou často upravovány samotnými operátory až při finální montáži.

Dle pokynů vedoucího a po konzultaci s vedením firmy byly v rámci cílů práce uvedených v zadání stanoveny dílčí úkoly:

1. Analýza konkrétního mechanismu revolveru a návrh vhodných součástí pro změnu postupu v jejich kontrole.
2. Popis postupu kontroly vybraných součástí revolveru.
3. Rozbor současného stavu kontroly a potvrzení, že metrologie ve firmě musí být chápána ve smyslu funkční kontroly dílů.
4. Analýza opakovatelnosti a reprodukovatelnosti (GRR) stávajícího systému měření za využití metody ANOVA. Zhodnocení konzistence výsledků měření, odhalení významných zdrojů variability.
5. Návrh a realizace nových postupů automatizovaného optického měření.
6. Hodnocení přijatelnosti navržených postupů měření analýzou GRR.
7. Formulace zdůvodněných doporučení pro praxi v oblasti metrologie.

3 ANALÝZA SYSTÉMU MĚŘENÍ

V této kapitole jsou popsány vybrané metody k určení ukazatele opakovatelnosti a reprodukovatelnosti, přičemž metoda ANOVA byla použita v praktické části pro posouzení stávajících a navržených systémů měření.

Pro správnou funkci systému měření a jeho možné zlepšení, je třeba monitorovat jeho výstupy a na jejich základě provádět příslušné akce. Existuje několik metod využívající různé principy, které mají za úkol zhodnotit systém měření. Dva nejpoužívanější přístupy k analýze systému měření jsou metodika MSA (Analýza systému měření) a metodika VDA 5 (Vhodnost kontrolních procesů). [3] [4]

Metodika VDA 5, německy Verband der Automobilindustrie, byla původně zavedena pro automobilový průmysl v Německu, a i když se místy odkazuje na metodiku MSA, její postupy jsou odlišné. Tato metodika posuzuje jako první měřicí přístroj na základě nejistot měření, dále posuzuje měřicí proces zahrnutím dalších složek nejistot. Metoda posuzuje především vhodnost měřicího systému, vhodnost procesu měření a vhodnost systému měření atributivních znaků. [5]

Druhá metodika **MSA**, anglicky Measurement System Analysis, je využita při řešení této diplomové práce. Jedná se o analytický nástroj využívající statistické výsledky získané z analýzy systému měření. Jejím cílem je zhodnotit systém měření a posoudit jeho kvalitu, tedy zjistit, zda je systém schopen poskytnout opakovaně stejné výsledky a zda je systém měření při daném účelu a podmínkách přijatelný. Tento nástroj bývá většinou využíván u sériové výroby v různých oblastech průmyslu. [3]

Do systému měření jsou zahrnuta veškerá měřidla a přístroje, etalony, přípravky, samotní operátoři, jejich metody a prostředí, ve kterém měření probíhá. Systém měření je považován za přijatelný, pokud splňuje několik základních podmínek. Jako první musí mít systém měření adekvátní práh citlivosti. Dále by měl být ve statisticky zvládnutém stavu, tedy že kromě polohy je i jeho variabilita způsobena pouze náhodnými příčinami. Také variabilita měřicího systému musí být malá, jak při srovnání s mezními hodnotami specifikací, tak při srovnání s variabilitou výrobního procesu. [3]

V rámci analýzy systému měření může být použito několik hodnocení v závislosti na specifických vlastnostech systému měření. Jedná se například o strannost, stabilitu, opakovatelnost a reprodukovatelnost nebo linearitu. [3]

Hodnocení by mělo být prováděno po každé změně či modifikaci měřicího systému jako ověření, zda je systém stále přijatelný. Díky studii je potom možné porovnat původní a modifikovaný měřicí systém i číselně vyjádřit, zda modifikace přispěla ke zlepšení systému. Stejným způsobem lze porovnat dva stávající systémy měření. V takových studiích obvykle vznikají především dva druhy variabilit, opakovatelnost a reprodukovatelnost. Proto je jedna z často používaných studií pro hodnocení systému měření studie opakovatelnosti a reprodukovatelnosti měřidla (anglicky Gage R&R nebo zkráceně GRR), která může využívat metodu rozpětí, metodu průměru a rozpětí nebo metodu analýzy rozptylu ANOVA. [4] [6]

Analýza může být provedena u většiny spojitých dat a může být použita jako kritérium pro hodnocení nového měřicího vybavení, jako porovnání několika měřicích strojů nebo jako porovnání před a po opravě konkrétního měřicího vybavení. Mimo měřicí vybavení může být

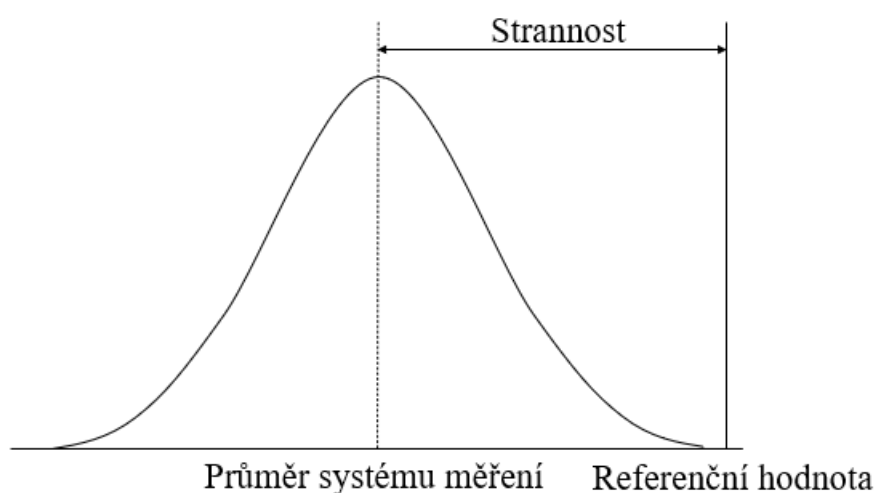
analýza zaměřena také na výpočet variability procesu a stanovení úrovně přijatelnosti pro výrobní proces. [7]

Metodika MSA pamatuje také na atributivní data a popisuje i studii systémů měření metodou srovnávání. Analýza systému měření metodou srovnávání je založená na měření diskrétních dat, hodnota naměřených dat je jednou z konečného počtu kategorií (např. OK/NOK). Příkladem vstupních dat do analýzy může být například měření kalibrem se shodnou a neshodnou stranou nebo třídění výrobků do několika kategorií. Dle metodiky MSA může být analyzován systém měření pomocí srovnávání celkem třemi metodami, a to metodou detekce signálu, metodou křížových tabulek a analytickou metodou. Výsledky těchto analýz poskytnou informace o rozdílech mezi jednotlivými operátory, ovšem neposkytnou žádnou informaci o schopnosti systému rozlišit dobré díly od špatných. [3]

3.1 Statistické vlastnosti systému měření

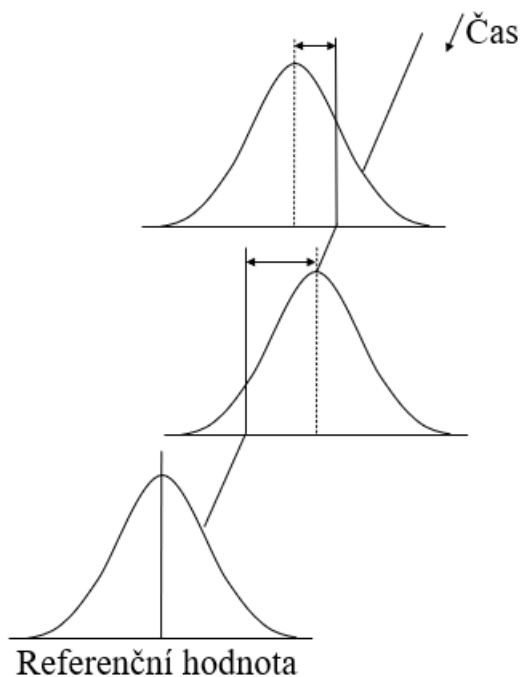
Základní statistické vlastnosti systému měření mohou být rozděleny na charakteristiky polohy a charakteristiky variability. Mezi charakteristiky polohy je zařazena strannost, stabilita a linearita. Charakteristiky variability, někdy také označovány jako variabilita šíře, zahrnují termíny jako shodnost, opakovatelnost, reprodukovatelnost, citlivost, konzistence a uniformita. [3]

Strannost (obr. 1) je určena rozdílem mezi referenční hodnotou (pravou hodnotou) a aritmetickým průměrem opakovaných měření na stejném dílu. Strannost systému měření označuje míru systematické chyby. Existuje velké množství příčin vzniku nadměrné strannosti. Patří mezi ně například: kvalita přístroje a s ní související deformace, opotřebení nebo poškození měřidla, vlivy prostředí – teplota, čistota, vibrace, vlhkost a podobně. V literatuře se lze setkat s označením přesnost, vzhledem však k více významům tohoto termínu se jeho použití nedoporučuje. [3]



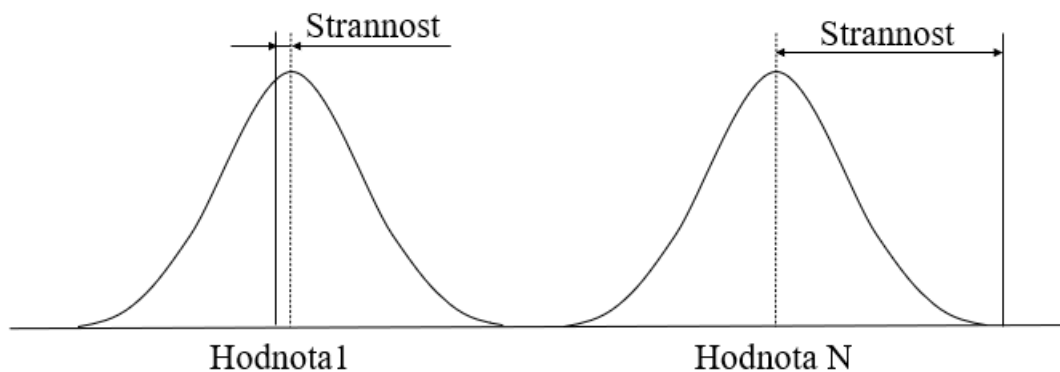
Obr. 1) Strannost měření [3]

Stabilita (obr. 2) charakterizuje celkovou variabilitu výsledků měření jedné charakteristiky na stejných dílech v dlouhém časovém úseku. Stabilita se dá také popsat jako změna strannosti za čas. Vliv na stabilitu měřicího systému může mít nesprávná nebo přístrojem vyžadovaná kalibrace, dále může mít vliv variabilita prostředí nebo údržba měřidla. [3]



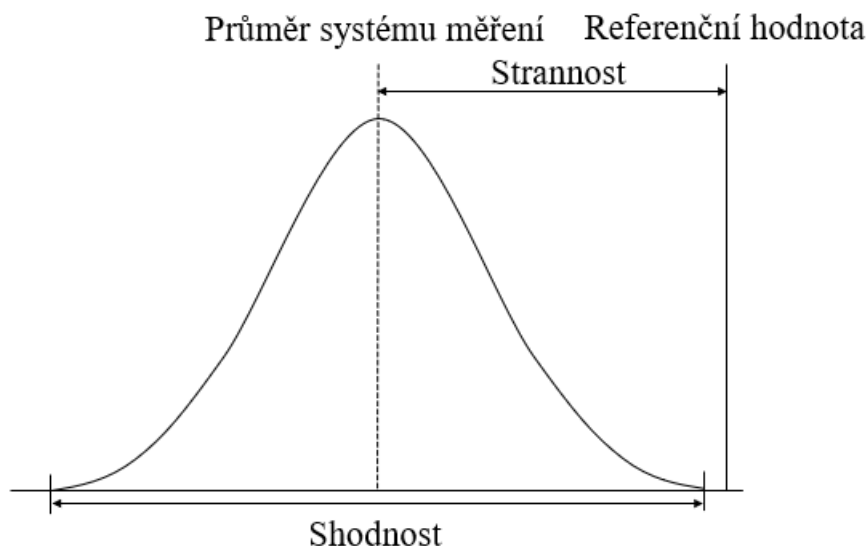
Obr. 2) Stabilita [3]

Linearitu (obr. 3) lze charakterizovat změnou strannosti v běžném provozním rozsahu měřidla. Vzhledem k tomu, že se nepředpokládá konstantní strannost může mít nepřijatelná linearita několik podob. Vliv na velikost linearity má například opotřebení přístroje, zařízení nebo přípravku, špatná údržba, přístroj vyžadující kalibraci a ostatní faktory, které ovlivňují samotnou strannost. [3]



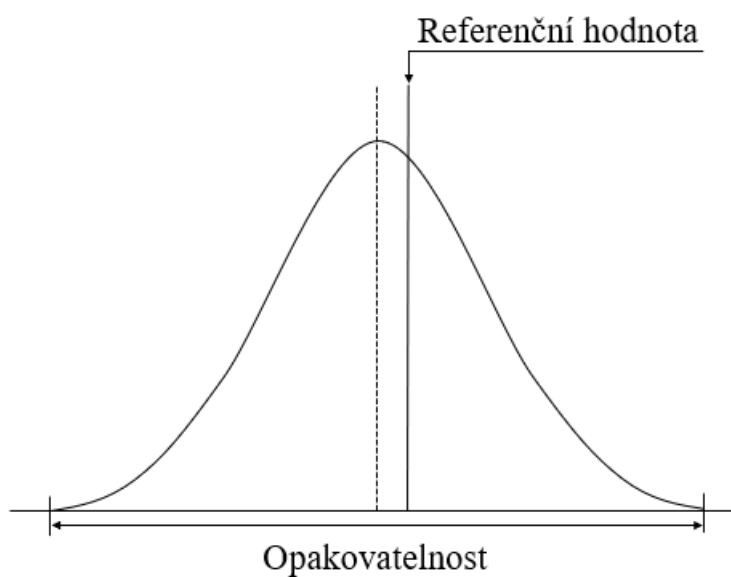
Obr. 3) Linearita [3]

Shodnost (obr. 4) je popsána jako celkový účinek prahu citlivosti a opakovatelnosti v rozsahu systému měření. Shodnost je nejčastěji používána pro popis očekávané variability opakovaných výsledků měření, přičemž v širším pojetí může zahrnovat variabilitu jednotlivých měřidel, operátorů, odečtů a celkových podmínek. V užším pojetí charakterizuje vliv náhodných chyb měření. [3] [8]



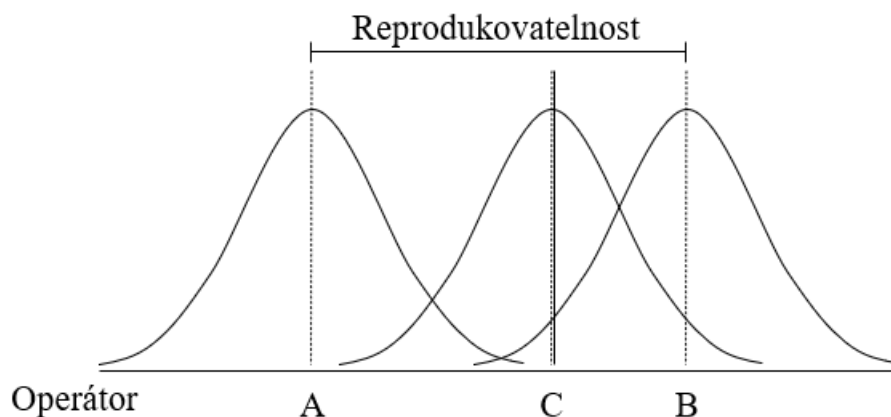
Obr. 4) Shodnost [8]

Opakovatelnost (obr. 5) je charakterizována jako variabilita výsledků měření, které byly opakovaně získány jedním měřicím přístrojem a jedním operátorem na stejném dílu za konstantních podmínek měření. Opakovatelnost lze také nazvat variabilitou zařízení (EV – equipment variation). Vliv na velikost opakovatelnosti mají náhodné chyby v po sobě jdoucích měření. Mezi konkrétní vlivy potom patří samotný díl, jeho poloha, povrchová úprava, přístroj, etalony i samotný operátor a zvolená metoda. [3]



Obr. 5) Opakovatelnost [3]

Reprodukovatelnost (obr. 6) je charakterizována variabilitou průměru měření stejným měřidlem a stejné charakteristiky na jednom dílu provedeného různými operátory. Lze ji tedy označit jako variabilitu mezi operátory. Reprodukovatelnost se dá také nazvat variabilitou operátora (AV – appraiser variation). Na chybnou reprodukovatelnost mají především vliv zkušenosti operátorů a kvalita jejich výcviku, také však etalony, použité měřicí přístroje a samotné díly. [3]



Obr. 6) Reprodukovatelnost [3]

Citlivost je charakterizována jako odezva systému na změny konkrétního měřeného znaku. Zjednodušeně řečeno, je to nejmenší vstup, který vyvolá zjistitelný výstup. Citlivost je stanovena konstrukcí měřidla a dále jeho provozní údržbou a stavem. Může být ovlivněna tlumením přístroje, odborností obsluhy nebo podmínkami použití. [3]

Konzistence je určena rozdílem ve variabilitách měření provedených v daném čase. Může být také definována jako opakovatelnost v časovém intervalu. Konzistence je citlivá především na změny v teplotě dílů, zahřívání a opotřebení měřících zařízení. [3]

Uniformita je definována rozdílem ve variabilitě v provozních mezích měřidla neboli opakovatelnost vůči velikosti. Mezi hlavní faktory ovlivňující uniformitu patří vůle při upnutí do přípravku, čitelnost stupnice a nesprávné čtení stupnice. [3]

3.2 Celková variabilita

Jedním z hlavních důvodů pro provedení studie systému měření je získání informací o velikostech a druzích variability, které vstupují do systému měření. Variabilita systému měření zahrnuje všechny druhy variability související s měřícím procesem. Variabilitu lze charakterizovat krátkodobě pomocí způsobilosti nebo dlouhodobě pomocí výkonnosti. [3]

Způsobilost systémů měření se odhaduje na základě kombinované variability chyb měření (náhodné a systematické) v rámci krátkodobého hodnocení. Způsobilost zahrnuje nekorigované složky strannosti nebo linearity a složky opakovatelnosti a reprodukovatelnosti (GRR), včetně krátkodobé konzistence. Odhad způsobilosti měření vyjadřuje očekávanou chybu za definovaných podmínek, použitelnosti a rozsahu systému měření. V případě, že jsou chyby měření nezávislé, lze způsobilost kombinované variability vyjádřit dle rovnice (1). [3]

$$\sigma_{\text{způsobilost}}^2 = \sigma_{\text{strannost(linearity)}}^2 + \sigma_{\text{GRR}}^2 \quad (1)$$

Výkonnost systému měření je charakterizována jako účinek všech významných a stanovitelných zdrojů v daném čase. Výkonnost dlouhodobě posuzuje kombinované chyby měření (náhodné a systematické), a proto zahrnuje způsobilost a dlouhodobé chyby, tedy stabilitu a konzistenci. Odhad výkonnosti vyjadřuje očekávané chyby za definovaných podmínek při dané použitelnosti a rozsahu systému měření. Pokud nedochází ke korelaci chyb měření lze ji vyjádřit dle rovnice (2). [3]

$$\sigma_{\text{výkonnost}}^2 = \sigma_{\text{způsobilost}}^2 + \sigma_{\text{stabilita}}^2 + \sigma_{\text{konzistence}}^2 \quad (2)$$

3.3 Metoda opakovatelnosti a reprodukovatelnosti měřidla

Metoda opakovatelnosti a reprodukovatelnosti měřidla je označována také jako GRR nebo Gage R&R. Ukazatel GRR systému měření je vyjádřen kombinovaným odhadem opakovatelnosti a reprodukovatelnosti měřidla. Výsledky metody poukazují na vznik variability v naměřených datech způsobené systémem měření. [3]

Při této analýze může být využita řada různých technik, nejčastěji se však využívá metoda rozpětí, metoda průměru a rozpětí a metoda ANOVA. Pokud je možnost provádět vyhodnocení ve výpočetním softwaru, doporučuje se metoda ANOVA, protože navíc zahrnuje přehled interakcí vstupních faktorů. Tyto numerické analýzy bývají zpravidla doplněny o grafické vyjádření výsledků. [3]

Před zahájením samotné analýzy je třeba zorganizovat plán a postup přípravy konkrétní analýzy, který lze shrnout v několika krocích dle [3]:

1. Vytvořit plán přístupu, ze kterého se bude vycházet, vybere se nejvhodnější studie.
2. Volba počtu operátorů l , počtu dílů n , replikací m a kritických rozměrů. Studie by se měli účastnit operátoři, kteří zvolený přístroj běžně používají. Počet operátorů a dílů se může lišit v závislosti na konkrétním případě použité metodě.
3. Výběr n dílů, které reprezentují variabilitu celého procesu. Pokud není k dispozici nezávislý odhad variability procesu, musí vybrané díly charakterizovat celý rozsah výrobní tolerance.
4. Vybrané díly se označí, ideálně aby je operátoři nemohli rozlišit.
5. Proběhne měření, kde každý operátor změří v náhodném pořadí všechny díly. Tento cyklus se opakuje v závislosti na požadovaném počtu opakování měření.
6. Sbíraná data musí být zaznamenána na nejmenší jednotku prahu citlivosti přístroje.
7. Výsledné data jsou zaneseny do formuláře.
8. Grafická a numerická analýza výsledků.
9. Hodnocení výsledků analýzy.

Tento druh analýzy lze aplikovat pouze při spojitých vstupních datech, v případě atributivních dat doporučuje MSA jiné postupy. [3]

3.3.1 Metoda založená na rozpětí

Metoda rozpětí je modifikovaná analýza opakovatelnosti a reprodukovatelnosti, která vyjadřuje celkový stav systému měření. Nezabývá se opakovatelností a reprodukovatelností jako samostatnými jednotkami, ale hodnotí celkovou variabilitu systému. Typicky metoda využívá dva operátory a pět součástí, přičemž každá součást je měřena každým operátorem pouze jednou. Rozpětí pro jednotlivé součásti se vypočítá jako rozdíl naměřených hodnot jednotlivými operátory dle rovnice (3), kde x_{iA} je hodnota vzorku i měřená operátorem A. [3]

$$R_i = |\max(x_{iA}) - \min(x_{iB})| \quad (3)$$

Následně se vypočítá průměrné rozpětí \bar{R} , z rozpětí jednotlivých dílů R_i , dle rovnice (4), kde n je počet dílů. [3]

$$\bar{R} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_i \quad (4)$$

Výsledná variabilita měření se určí dle vztahu (5). [3]

$$GRR = \frac{\bar{R}}{d_2^*} \quad (5)$$

Koeficient d_2^* je tabelovaná hodnota v [3] závislá na počtu operátorů a měřených součástích. Nakonec je vypočten ukazatel $\%GRR$, který procentuálně stanoví poměr variability měření ku směrodatné odchylce daného procesu dle vzorce (6). [3]

$$\%GRR = \frac{GRR}{\sigma} \cdot 100 [\%] \quad (6)$$

3.3.2 Metoda založená na průměru a rozpětí

Tato metoda, občas také označována jako $(\bar{X} a R)$, poskytuje odhad opakovatelnosti i reprodukovatelnosti systému měření. Variabilita systému měření je rozložena na složku opakovatelnosti a reprodukovatelnosti, ale nevyjadřuje mezi nimi interakci. Metoda je prováděna za pomoci numerických výpočtů variability operátorů, měřicích zařízení a systému měření, společně s grafickou analýzou. [3]

Zpravidla se pro danou metodu volí minimálně 10 dílů, které jsou měřeny 3 operátory minimálně se 3 replikacemi. Naměřená data se zanesou do formuláře a jsou provedeny základní výpočty pro určení numerického výsledku analýzy. Výhodou této metody je jednoduchost výpočtů a možnost aplikace této metody bez dostupnosti výpočtového softwaru. Rozpětí pro jednotlivé operátory a jednotlivé díly se vypočítá dle rovnice (7), kde x_{ijk} je hodnota vzorku i , měřena operátorem k při replikaci j . [3]

$$R_{ik} = |\max(x_{ijk}) - \min(x_{ijk})| \quad (7)$$

Průměrné rozpětí pro jednotlivé operátory a všechny díly se určí dle rovnice (8), ve které n vyjadřuje počet operátorů. [3]

$$\bar{R}_k = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_{ik} \quad (8)$$

Celkové průměrné rozpětí se vypočítá dle rovnice (9), kde l je celkový počet operátorů ve studii.

$$\bar{\bar{R}} = \frac{1}{l} \sum_{k=1}^l \bar{R}_k \quad (9)$$

Pro vytvoření grafické reprezentace výsledků je třeba vypočítat regulační meze pro tvorbu diagramu pro rozpětí. Horní regulační mez se vypočítá dle vzorce (10) a dolní regulační mez dle vzorce (11). Centrální příčka CL je rovna celkovému průměrnému rozpětí a určí se dle vzorce (9). [3]

$$UCL_{\bar{R}} = \bar{\bar{R}} \cdot D_4 \quad (10)$$

$$LCL_{\bar{R}} = \bar{\bar{R}} \cdot D_3 \quad (11)$$

Koeficienty D_4 a D_3 pro výpočet dolní a horní regulační meze jsou tabelované hodnoty v [9] a jsou závislé na počtu replikací. [3]

Průměr naměřených hodnot operátorem k jednotlivého dílu i při počtu replikací m se vypočítá dle vzorce (12). Dále je nutné spočítat průměr pro všechny díly n , ale jednotlivé operátory k a jednotlivé replikace j dle vzorce (13). [3]

$$\overline{x_{ik}} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m x_{ijk} \quad (12)$$

$$\overline{x_{jk}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{ijk} \quad (13)$$

Dalším krokem je výpočet celkových průměrů pro jednotlivé operátory dle vzorce (14) a pro jednotlivé díly dle vzorce (15). [3]

$$\overline{x_k} = \frac{1}{mn} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m x_{ijk} \quad (14)$$

$$\overline{x_i} = \frac{1}{ml} \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^l x_{ijk} \quad (15)$$

Celkový aritmetický průměr měření se vypočítá dle vzorce (16) a následně se použije pro výpočet regulačních mezí do diagramu pro průměr. [3]

$$\bar{\bar{x}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \overline{x_i} \quad (16)$$

Regulační meze UCL a LCL se vypočítají dle vzorců (17) a (18), přičemž koeficient A_2 je závislý na počtu opakovaných měření a je tabelovaný v [3]. Centrální přímka CL je rovna celkovému aritmetickému průměru, tedy výsledku ze vzorce (16). [3]

$$UCL = \bar{\bar{x}} + A_2 \cdot \bar{\bar{R}} \quad (17)$$

$$LCL = \bar{\bar{x}} - A_2 \cdot \bar{\bar{R}} \quad (18)$$

Pro pozdější výpočet variability operátorů AV je třeba stanovit rozdíl mezi maximálním a minimálním průměrem jednotlivých operátorů X_{DIFF} , dle vzorce (19). [3]

$$\bar{X}_{DIFF} = \max(\overline{x_k}) - \min(\overline{x_k}) \quad (19)$$

Po těchto základních výpočtech již následují výpočty jednotlivých ukazatelů analýzy GRR a následně i jejich procentní vyjádření. Opakovatelnost EV (variabilita zařízení) se vypočítá jako součin celkového průměrného rozpětí a koeficientu K_1 dle vzorce (20). [3]

$$EV = \bar{\bar{R}} \cdot K_1 \quad (20)$$

Koeficient K_1 je závislý na počtu replikací m a je určen na základě koeficientu d_2^* tabelovaného v [3]. Dále je určena reprodukovatelnost AV neboli variabilita operátora dle vzorce (21). [3]

$$AV = \sqrt{(\bar{X}_{DIFF} \cdot K_2)^2 - (EV^2/(mn))} \quad (21)$$

Koeficient K_2 je závislý na počtu operátorů l ve studii a je určen na základě koeficientu d_2^* tabelovaného v [3]. Opakovatelnost a reprodukovatelnost GRR systému měření je určena druhou odmocninou ze součtu druhých mocnin variability zařízení EV a variability operátora AV dle vzorce (22).

$$GRR = \sqrt{EV^2 + AV^2} \quad (22)$$

Variabilita dílu PV je určena součinem rozpětí průměrů dílů a koeficientu K_3 dle vzorce (23), kde K_3 je konstanta závislá na počtu dílů n ve studii a je určena na základě koeficientu d_2^* tabelovaného v [3].

$$PV = R_p \cdot K_3 \quad (23)$$

Celková variabilita je potom určena jako druhá odmocnina součtu druhých mocnin variabilit dílu, zařízení a operátora, dle rovnice (24). [3]

$$TV = \sqrt{EV^2 + AV^2 + PV^2} \quad (24)$$

Nakonec je vypočítáno procentuální vyjádření jednotlivých variabilit dle vzorců (25) až (28), přičemž součet procent všech faktorů nebude roven 100 %. [3]

$$\%EV = 100 \cdot \left(\frac{EV}{TV}\right) \quad (25)$$

$$\%AV = 100 \cdot \left(\frac{AV}{TV}\right) \quad (26)$$

$$\%GRR = 100 \cdot \left(\frac{GRR}{TV}\right) \quad (27)$$

$$\%PV = 100 \cdot \left(\frac{PV}{TV}\right) \quad (28)$$

Posledním krokem numerické analýzy je výpočet kategorií, které je možné spolehlivě rozlišit daným systémem měření *ndc* (number of distinct categories). Výsledkem *ndc* je zaokrouhlené celé číslo a v ideálním případě by mělo být větší než 5. Pokud je *ndc* rovno 2–4 poskytuje analýza pouze hrubé odhady ukazatelů procesu. Konkrétně to vyjadřuje, do kolika kategorií lze měřené části rozlišit. *Ndc* se stanoví jako podíl variability dílu *PV* a opakovatelnosti a reprodukovatelnosti systému měření *GRR* dle vzorce (29). [3]

$$ndc = 1,41 \left(\frac{PV}{GRR}\right) \quad (29)$$

Numerická analýza provedena různými programy může vykazovat odlišné výsledky. Tato anomálie je způsobena samotným principem výpočtu daných programů, jelikož některé programy jsou primárně nastaveny tak, aby výsledky byly zaokrouhleny směrem nahoru. [3]

3.3.3 Metoda ANOVA

Metoda ANOVA taktéž analýza rozptylu je běžná statistická technika, která může být využita k analýze chyby měření a ostatních zdrojů variability. Při základní analýze, kde do studie vstupují pouze operátoři a díly rozděluje rozptyl do čtyř skupin (díly, operátoři, interakce mezi díly a operátory a chyba opakování měření způsobená měřidlem). Na rozdíl od ostatních metod může tato metoda odhadnout rozptyl mnohem přesněji, avšak vzhledem ke složitosti a komplexnosti metody, je výrazně doporučeno použít pro vyhodnocení statistický software. Při této metodě je také důležité dbát na statistickou nezávislost studie a znáhodnění sběru dat, aby nedocházelo ke vzniku strannosti. Hlavní výhodou metody ANOVA je na rozdíl od ostatních zmíněných metod schopnost identifikace interakcí mezi operátorem a dílem, a proto je ze všech tří metod považována za nejvíce vyhovující. [10] [3]

V tabulce 1 a 2 je dvoufaktorová metoda ANOVA pro vstupní faktory operátor a díl shrnuta potřebnými vzorci. Výsledná tabulka ANOVA je tvořena čtyřmi sloupci a používá se k rozložení celkové variability do čtyř skupin. Sloupec *DF* definuje stupně volnosti související se zdrojem variability, sloupec *SS* (součet čtverců) definuje odchylku od střední hodnoty zdroje, sloupec *MS* (kvadratický průměr) určuje podíl sloupců *SS* a *DF*, poslední sloupec (poměr *F*) pak uvádí statistickou významnost jednotlivých zdrojů variability. Pokud při analýze vyjde

nějaká složka tabulky záporně, položí se rovna nule. Vstupní data jsou při této metodě shodné jako při metodě průměru a rozpětí, tedy do studie vstupuje pouze operátor a díly. [3]

Tab 1) Tabulka analýzy rozptylu dvoufaktorová ANOVA [3]

Zdroje variability	Stupeň volnosti DF	Součet čtverců SS	Kvadratický průměr MS	Poměr F
Operátor	l-1	$SS_A = \sum_{k=1}^l nm(\bar{x}_k - \bar{\bar{x}})^2$	$MS_A = \frac{SS_A}{l-1}$	$\frac{MS_A}{MS_{AP}}$
Díl	n-1	$SS_P = \sum_{i=1}^n lm(\bar{x}_i - \bar{\bar{x}})^2$	$MS_P = \frac{SS_P}{n-1}$	$\frac{MS_P}{MS_{AP}}$
Operátor a díl	(l-1)(n-1)	$SS_{AP} = TSS - (SS_A + SS_P + SS_E)$	$MS_{AP} = \frac{SS_{AP}}{(l-1)(n-1)}$	$\frac{MS_{AP}}{MS_E}$
Zařízení	nl(m-1)	$SS_E = \sum_{k=1}^l \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n (x_{ijk} - \bar{x}_{ik})^2$	$MS_E = \frac{SS_E}{nl(m-1)}$	
Celkem	nlm-1	$TSS = \sum_{k=1}^l \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n (x_{ijk} - \bar{\bar{x}})^2$		

Při této metodě se především u statistických softwarů ve výsledcích objevuje ještě sloupec s p-hodnotou. P-hodnota udává platnost nebo neplatnost nulové hypotézy. V tomto případě nulová hypotéza tvrdí, že vybraný zdroj není významný zdroj variability. Takové rozhodnutí probíhá na jisté hranici významnosti, standardně 1 % nebo 5 %. Pokud p-hodnota klesne pod zvolenou hladinu významnosti, zamítá se nulová hypotéza a vybraný zdroj je významný zdroj variability. [10]

Následně se výsledky z tabulky 1 použijí k výpočtům charakteristik opakovatelnosti a reprodukovatelnosti, dle rovnic v tabulce 2.

Tab 2) Odhad složek rozptylu a výpočet ukazatelů GRR [3]

	Odhad rozptylu	Ukazatele GRR
Zařízení EV	$\tau^2 = MS_E$	$EV = 6\sqrt{MS_E}$
Interakce INT	$\gamma^2 = \frac{MS_{AP} - MS_E}{m}$	$INT = 6\sqrt{\frac{MS_{AP} - MS_E}{m}}$
Operátor AV	$\omega^2 = \frac{MS_A - MS_{AP}}{nm}$	$AV = 6\sqrt{\frac{MS_A - MS_{AP}}{nm}}$
Díl PV	$\sigma^2 = \frac{MS_P - MS_{AP}}{lm}$	$PV = 6\sqrt{\frac{MS_P - MS_{AP}}{lm}}$
GRR	$GRR = \tau^2 + \gamma^2 + \omega^2$	$GRR = \sqrt{EV^2 + AV^2 + INT^2}$

Na závěr se vypočítá celková variabilita, tedy součet všech variabilit dle rovnice (30).

$$TV = \sqrt{GRR^2 + PV^2} \quad (30)$$

Procentuální vyjádření jednotlivých variabilit a počet rozlišitelných kategorií ndc se u metody ANOVA vypočítá stejným způsobem, jako v případě metody průměru a rozpětí, jejíž postup je uveden výše. Stejná pravidla také platí pro hodnocení výsledků analýzy a závěrečné hodnocení je tedy založeno na kritériích v tabulce 3. [3]

Výše zmíněná metoda ANOVA s konkrétně vyjádřenými vzorci je nejpoužívanější metoda ve standardních případech, kdy do analýzy vstupuje pouze operátor a díl. Standardní experiment zároveň předpokládá náhodnost všech vstupních faktorů. [11]

Základní studie používá dvoufaktorový model s náhodnými vstupními faktory, který je popsán rovnicí (31). [11]

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_k + (\alpha\beta)_{ik} + \varepsilon_{ijk}, \quad (31)$$

kde μ je průměrná teoretická hodnota měřené veličiny, α_i je vliv prvního faktorů na úrovni i , β_k je vliv druhého faktoru na úrovni k , $(\alpha\beta)_{ik}$ je interakce mezi faktory a ε_{ijk} náhodná chyba. [11]

V některých praktických aplikacích však vzniká požadavek na zahrnutí i jiných faktorů do analýzy. Mezi další faktory může patřit například měřidlo, měřicí laboratoř, měřicí přípravek nebo různé metody získávání dat. Tyto faktory se dále dělí na fixní a náhodné. Náhodné faktory byly vybrány do studie náhodně z větší skupiny, naopak fixní faktory zahrnují všechny existující varianty. Na povaze vstupních faktorů pak závisí použitý model a jeho řešení při analýze rozptylu ANOVA. [11]

Komplexnější systémy měření vyžadují složitější přístup, než je dvoufaktorová ANOVA, většinou využívají tří nebo vícefaktorovou ANOVU. Konkrétní řešení ANOVA závisí na uspořádání dat, které může být vyvážené, pokud byl pokaždé měřen stejný počet hodnot, nebo nevyvážené, pokud je počet měřených hodnot různý. Řešení také závisí na tom, zda bylo provedeno opakované nebo pouze jedno měření. Řešení takových případů je individuální a musí být řešeno iterativně v závislosti na vstupních datech. [11]

3.3.4 Grafická analýza

Výsledky analýzy mohou být interpretovány mnoha grafickými zobrazeními. Grafické vyjádření výsledků je většinou pro analýzu stěžejní, ovšem volba grafu závisí na konkrétním experimentu a očekávaných výsledcích analýzy. [3]

Diagram pro průměr je grafické vyjádření průměru odečtených hodnot jednotlivými operátory. Tento diagram zobrazuje konzistenci mezi operátory. Pomocí průměrného rozpětí jsou stanoveny regulační meze. Výběr součástí by měl reprezentovat variabilitu celkového výrobního procesu, a proto by se přibližně polovina průměrů měla nacházet mimo regulační meze. Pokud se mimo regulační meze nachází méně než polovina dat, stojí za zvážení, zda vybraný vzorek opravdu reprezentuje celkovou variabilitu a zda systém měření nepostrádá dostatečnou efektivní rozlišitelnost. [3]

Při analýze lze sloučit diagramy pro průměr jednotlivých operátorů do jednoho bez kontrolních limitů a vytvořit diagram interakcí. Potom se pozorují jednotlivé spojnice průměrů, pokud jsou spojnice rovnoběžné, neexistuje žádná interakce mezi operátory. Pokud však

spojnice svírají nějaký úhel, může být interakce mezi operátory významná. Platí, že se zvětšujícím se úhlem roste i interakce. [3] [5]

Diagram pro rozpětí ukazuje, zda je proces ve statisticky zvládnutém stavu a slouží k porovnání konzistence mezi operátory pro každý díl. Diagram může poukázat na rozdíly mezi metodami jednotlivých operátorů. Do diagramu se zakresluje rozpětí hodnot jednotlivých operátorů pro jednotlivý díl společně s regulačními mezemi a průměrným rozpětím. Nachází-li se všechna rozpětí v rozmezí regulačních mezí, konají všichni operátoři stejnou práci. Pokud například jeden operátor vybočuje z mezí pro statisticky zvládnutý stav, používá pravděpodobně jinou metodu lišící se od ostatních. Pokud z mezí vybočují všichni operátoři lze předpokládat, že je systém více citlivý na zvolenou techniku měření operátorů a samotná technika vyžaduje zlepšení, aby bylo možné sesbírat použitelná data. [3] [5]

Bodový diagram zobrazuje odděleně naměřené hodnoty všech operátorů pro jednotlivý díl. Z diagramu lze vyčíst konzistenci mezi operátory, odhalit odlehlé hodnoty a zjistit interakci mezi dílem a operátorem. Do diagramu se také může zaznačit průměrná naměřená hodnota každého dílu. Z takového diagramu pak lze vyčíst odlehlé abnormální odečty a velikost variability jednotlivých součástí. [3]

Krabicový diagram (anglicky označován jako Box plot) nebo také diagram s „vousy“ využívá zobrazení dat na základě kvartilů. Diagram zobrazuje první, druhý a třetí kvartil, přičemž jeho „vousy“ vyjadřují variabilitu dat pod prvním a nad třetím kvantilem. Dokáže pak odhalit nekonzistenci mezi operátory, odlehlé hodnoty a ukázat interakci mezi dílem a operátorem. [3]

Diagram chyb pracuje s vypočtenými odchylkami naměřených dat od referenční hodnoty nebo od průměrného výsledku měření jednotlivého dílu. Způsob výpočtu odchylky závisí, zda je známá referenční hodnota analyzovaných dat. Zakreslují se odchylky jednotlivých operátorů pro jednotlivé díly. Z diagramu chyb lze určit strannost a variabilitu operátorů. [3]

Normalizovaný histogram je graf, ve kterém je znázorněno rozdělení četnosti chyb měřidel u operátorů. Chyba měřidla se v případě znalosti referenční hodnoty vypočítá jako rozdíl pozorované hodnoty a referenční hodnoty, pokud není referenční hodnota známá vypočítá se normalizovaná hodnota jako rozdíl pozorované hodnoty a průměru dílu. Z histogramu lze získat vizuální rozdělení chyb, rozdělení jejich četnosti potom může ukázat, zda některý z operátorů nezanášá do měření systematický zdroj variability. [3]

Graf X-Y pro průměry podle velikosti je bodový diagram, do kterého jsou zaznačeny průměry násobných odečtů pro každého operátora a každý díl vzhledem k referenční hodnotě nebo celkovému průměru všech dílů. Z takového grafu lze určit linearitu (v případě použití referenční hodnoty) a konzistence mezi operátory. [3]

Diagram pro průměr a diagram pro rozpětí spadají do kategorie tzv. **regulačních diagramů**. Pokud dochází k dlouhodobému sběru dat, mohou být zobrazeny formou právě regulačních diagramů. Data se však nesbírají náhodně, jako je tomu u sběru dat pro analýzu, ale jsou seřazeny dle času sběru. Regulační diagramy jsou jedním z nástrojů statistické regulace procesu, slouží k vyhodnocování nebo monitorování procesu a poskytují informaci o tom, zda je proces ve statisticky zvládnutém stavu. [9]

Je však třeba pamatovat na to, že ze standardních regulačních diagramů se vyvozují odlišné závěry než z diagramu pro průměr v rámci analýzy systému měření. [3]

Regulačních diagramů je několik typů, většinou je ze samotného procesu patrné, který typ použít. Obecně lze regulaci rozdělit na kvalitativní data (např. informace, zda výrobek vyhovuje nebo nevyhovuje specifikaci) a kvantitativní data (např. průměr, délka). U kvalitativních dat je třeba použít regulaci srovnáváním, u kvantitativních dat regulaci měřením. Nejčastěji používané regulační diagramy pro kontrolu měřením jsou diagramy pro průměr a rozpětí, pro individuální hodnoty a klouzavé rozpětí. Procesy, které se regulují srovnáváním, využívají diagramy p , np , c a u . [9] [12]

Pokud je možné volit typ dat je vždy vhodnější sběr kvantitativních dat, které ve výsledku poskytnou více informací o daném procesu. [9]

3.3.5 Analýza studií GRR

Na závěr se vypočtený procentuální ukazatel opakovatelnosti a reprodukovatelnosti GRR porovná s obecně platnou směrnicí a z výsledku se vytvoří závěry týkající se systému měření. Tabulka je spíše obecná a závěrečné hodnocení musí vycházet ze zamýšleného použití systému měření. [3]

Tab 3) Kritéria hodnocení opakovatelnosti a reprodukovatelnosti systému měření [3]

% GRR	Stav systému měření	Komentář
Pod 10 %	Obecně přijatelný	Doporučeno. Možnost využití při třídění nebo klasifikování dílů případně při požadavku zpřísnění regulace.
10 % až 30 %	Přijatelný pro některé aplikace	Rozhodnutí by mělo být založeno na důležitosti měření a na výdajích za měřicí zařízení, případně na výdajích za opravu a přepracování.
Nad 30 %	Nepřijatelný	Takový stav by měl být řešen za použití vhodné strategie měření a všechna snaha by měla být věnována zlepšení systému měření

Výsledkem metody ANOVA i metody průměru a rozpětí je variabilita systému rozložena na opakovatelnost EV a reprodukovatelnost AV . Při závěrečném hodnocení je vhodné oba výsledné ukazatele mezi sebou porovnat. Pokud je opakovatelnost výrazně větší než reprodukovatelnost, může to znamenat, že je nutné provést údržbu přístroje, přístroj vyžaduje změnu konstrukce nebo upevnění, případně může vznikat i velká variabilita mezi jednotlivými díly. Pokud je naopak reprodukovatelnost výrazně větší než opakovatelnost, je možné, že operátoři nejsou dostatečně proškoleni a nesprávně zachází s použitými měřidly. Na tento případný rozdíl může mít vliv i nejasná kalibrace stupnice měřidla. [3] [5]

Analýzu GRR jako jediného hodnotícího kritéria nelze použít pro stanovení přijatelnosti systému měření. Označení systému měření jako přijatelného se nemá omezovat pouze na jeden soubor ukazatelů, ale mělo by být provedeno na dlouhodobé zkoumání funkčnosti systému měření v čase. [3]

3.3.6 Software pro výpočet opakovatelnosti a reprodukovatelnosti

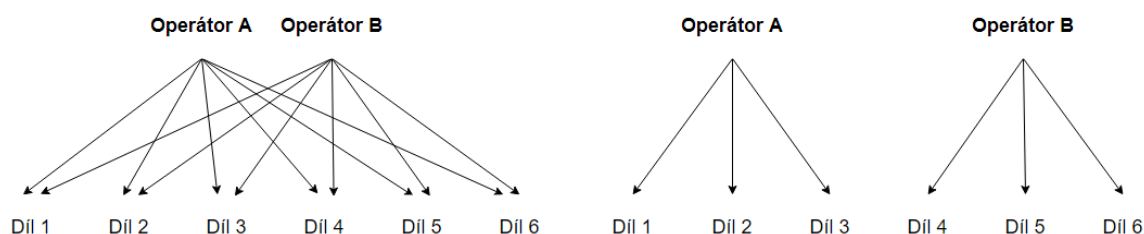
Jedním z doporučených nástrojů pro výpočet ukazatelů opakovatelnosti a reprodukovatelnosti je statistický software Minitab, který je určený především pro analýzu a hodnocení dat. Software byl vyvinut na pensylvánské univerzitě v roce 1972. V softwaru je možné provádět různé výpočty s příslušným grafickým vyjádřením. [13]

Minitab nabízí vygenerování pracovního listu s náhodně přiřazenými čísly dílů k operátorům pro náhodný sběr dat pro analýzu. Dále pak poskytuje několik typů studie analýzy a reprodukovatelnosti a to Crossed, Nested a Expanded analýzu. Jednotlivé typy studií se dělí v závislosti na způsobu sběru dat, jejich množství a ostatních podmínkách při měření. [14] [15]

Crossed analýza, je analýza, při které je každý díl změřen každým operátorem, se stejným počtem opakování. Tato analýza je v praxi používána nejčastěji, pokud do studie nevstupují žádné další faktory. [14]

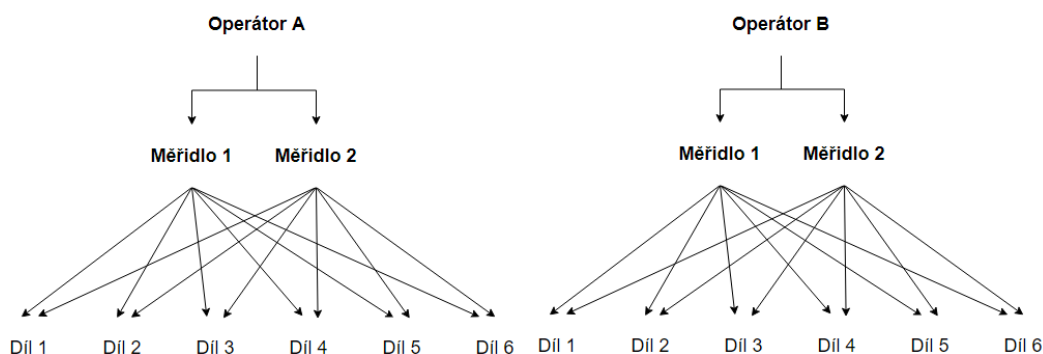
Nested analýza posuzuje variabilitu měřicího systému v případě, když každý operátor měří jiný set dílů. Měření probíhat většinou s opakováním, opakované měření neprobíhá u destruktivního testování. [15]

Obrázek 7 znázorňuje příklad možnosti sběru dat pro Crossed a Nested analýzu.



Obr. 7) Sběr dat pro a) Crossed analýzu b) Nested analýzu [15]

Expanded analýza, je založena na principu vícefaktorového vyhodnocování. Do analýzy tak mimo variabilitu operátora a dílů může navíc vstoupit vliv prostředí, více druhů měřidel nebo měřicích přípravků. Analýzu lze použít také v případě nevyváženého designu. Tedy pokud v analýze chybí nějaké data, například pokud některý z operátorů měřil s nižším počtem opakování. Plán pro vyváženou expanded analýzu se dvěma měřidly a dvěma operátory je zobrazen na obrázku 8. [15]



Obr. 8) Možnost sběru dat pro Expanded analýzu [15]

4 VÝBĚR SOUČÁSTÍ REVOLVERU

V následující kapitole je popsán princip funkce konkrétního mechanismu revolveru. Dále jsou vybrány vhodné součásti mechanismu pro analýzu a změnu jejich kontrolního postupu.

4.1 Základní klasifikace revolverů

Revolver lze charakterizovat jako střelnou palnou zbraň. Dle zákona o zbraních je střelná zbraň taková, jejíž funkce je určena okamžitým uvolněním určitého druhu energie při výstřelu. Za palné zbraně, jsou označeny takové zbraně, které k pohybu střely využívají chemicko-tepelnou přeměnu střeliviny, při které zároveň dochází k prudkému vývinu plynu. [16]

Revolver lze dále dle způsobu držení při střelbě charakterizovat jako krátkou zbraň, což znamená, že jeho konstrukce umožňuje použití pouze jedné ruky při střelbě. Dle druhu zbraně jsou revolyery klasifikovány jako speciální opakovací zbraně s otáčivým válcem s nábojovou komorou a pevnou hlavní. [16]

Dominantou revolveru je otáčející se válec s komorami, přičemž postupně dochází ke spojení jednotlivých komor s nepohyblivou hlavní. Počet komor ve válci revolveru se může lišit v závislosti na ráži, velikosti a konstrukci revolveru. Zpravidla bývá počet komor válce mezi pěti až devíti, přičemž nejčastější počet komor je šest. [17]

V závislosti na konstrukci a ovládání se revolyery rozlišují na SA (single action), tedy jednočinné a DA (double action), tedy dvojčinné. Při SA musí být kohout manuálně natažen a potom stiskem spouště uvolněn, aby byl iniciován výstřel. Před dalším výstřelem musí střelec opět kohout manuálně natáhnout. Spoušťové ústrojí provádí pouze jednu činnost, a to uvolnění kohoutu. [16]

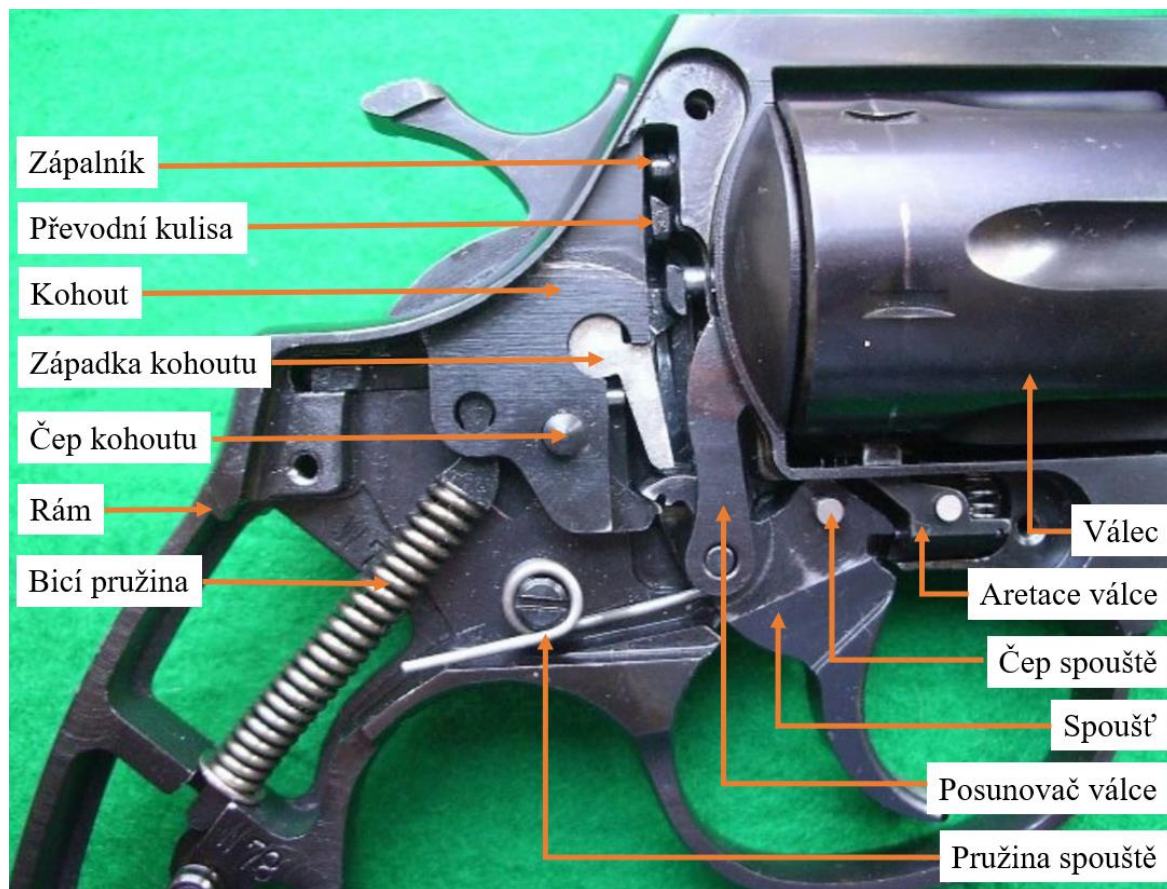
U DA mechanismů je natažení i následné uvolnění kohoutu realizováno jedním stiskem spouště neboli střelbou spoušťovým napínáním. Spoušť tedy koná dvě funkce, napíná i uvolňuje kohout. Tento způsob zvyšuje rychlost střelby ovšem na úkor přesnosti zásahu, protože vyžaduje vyšší tlak na spoušť než při manuálním natažení kohoutu. Všechny dvojčinné revolyery mají takovou konstrukci, že je možné zvolit mezi jednočinnou nebo dvojčinnou možností střelby. V případě, že revolver pracuje pouze se spoušťovým napínáním označuje se jako DAO (double action only). [17] [18]

4.2 Princip funkce mechanismu

Konstrukce mechanismů revolveru se může se značkou a typem výrazně lišit. Dále je proto popsána funkce konkrétního mechanismu, jehož se týká tato diplomová práce. Mechanismus revolveru včetně popisu jeho důležitých částí je na obrázku 9.

Výstřel je iniciován úderem napnutého kohoutu na převodní kulisu. Kohout může být napnut manuálně (jednočinný režim) nebo může být napnut stiskem spouště (dvojčinný režim). Převodní kulisa, označena na obrázku 9, je součástí, která je spojena se spouští a společně s pohybem spouště se vysouvá před zápalník a přenáší úder kohoutu na zápalník. Tato součást funguje v zásadě jako pojistka, aby nedošlo k nechtěnému výstřelu při mechanické manipulaci s kohoutem. Bez převodní kulisy nedosáhne samotný kohout na zápalník. Jakmile kohout udeří do převodní kulisy, kulisa převede udělenou kinetickou energii na zápalník, zápalník zasáhne zápalku umístěnou v zadní části nábojnice. Náraz způsobí vznícení zápalky a zážeh prachové

náplně náboje, přičemž vznikne exploze, která udělí kinetickou energii střele a tím dojde k výstřelu.



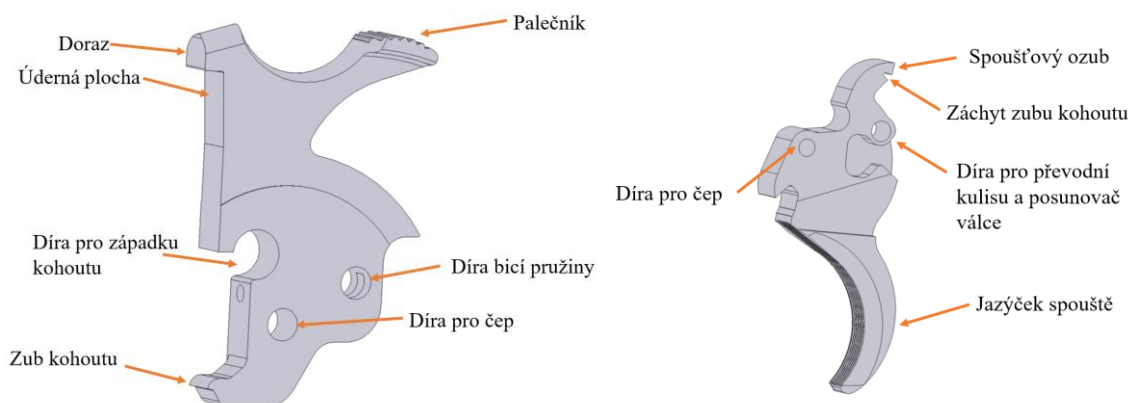
Obr. 9) Popis mechanismu revolveru (upraveno [19])

4.2.1 Spoušťové a bicí ústrojí

Obecně lze mechanismus revolveru rozdělit na spoušťové a bicí ústrojí. Dominantou spoušťového ústrojí je spoušť a dominantou bicího ústrojí je kohout. Pro pochopení funkce mechanismu, nestačí popsat pouze jednotlivé součásti, ale je třeba se zmínit i o jednotlivých prvcích na vybraných součástech. Za zmínku stojí právě kohout a spoušť, jejich prvky jsou popsány na obrázku 10. Některé popsané prvky jsou stěžejní pro správnou funkci mechanismu a přichází do kontaktu s ostatními částmi mechanismu.

Spoušťový ozub hraje významnou roli při dvojčinném režimu, a naopak zub kohoutu a jeho záchyty na spoušti jsou klíčové prvky pro jednočinný režim.

Palečnický kohout a jazýček spouště, které slouží střelci především pro ovládání revolveru jsou jediné vnější části mechanismu. Pro snazší ovládání bývá především palečnický zdrsněn.



Obr. 10) Popis prvků a) kohoutu a b) spouště

4.2.2 Dvojčinný režim

U dvojčinného režimu DA dojde při stlačení jazýčku spouště k natažení, a pak i k uvolnění kohoutu. Při tlaku na spoušť dochází k rotačnímu pohybu kolem jejího čepu, přičemž její ozub tlačí na západku kohoutu a ta napíná kohout dozadu. S pohybem spouště je spojen i posunovač válce, který otočí válcem o jednu komoru, po otočení válce se zvedne aretační páka válce a zamezí dalšímu pohybu válce. Společně s pohybující se spouští dochází i k vysouvání převodní kulisy, je-li spoušť stlačena v zadní poloze je zároveň převodní kulisa vysunuta těsně před zápalníkem. V jistém okamžiku, kdy je spoušť stlačena téměř v mezní zadní poloze, dojde ke sklouznutí západky kohoutu z ozubu spouště a k uvolnění kohoutu stlačující bící pružinu, následně kohout udeří na převodní kulisu. Při tomto režimu hraje významnou roli především tvar ozubu spouště a tvar západky kohoutu. Jejich dotek je znázorněn na obrázku 11.



Obr. 11) Kontakt spouště a západky kohoutu při dvojčinném režimu

4.2.3 Jednočinný režim

Při jednočinném režimu SA musí výstřelu předcházet manuální natažení kohoutu. Natažení kohoutu probíhá tlakem na palečnick. Natažení kohoutu znamená, že dojde k zapadnutí zubu kohoutu do záchytu zubu kohoutu na spoušti. Při natahování kohoutu se jeho zub dotýká spouště a vyvolává její pohyb. Tento kontakt je zobrazen na obrázku 12. Při pohybu spouště se zároveň válec revolveru otočí o jednu komoru, přičemž se následně vysune aretační páka. S pohybem spouště je spojen také pohyb převodní kulisy, která se vysouvá před zápalník.



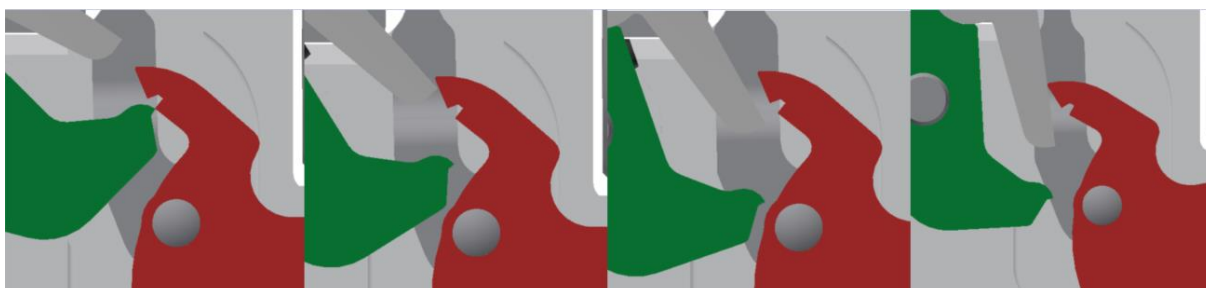
Obr. 12) Dotek kohoutu a spouště při SA natahování kohoutu

Jakmile je kohout plně natažen, dojde k zapadnutí zubu kohoutu do záchyty, dle obrázku 13. Nyní je revolver natažen a připraven k výstřelu.



Obr. 13) Zaklesnutý zub kohoutu v záchyty zubu na spoušti

Samotný výstřel je realizován pouze krátkým stiskem spouště, přičemž při tlaku na spoušť se spoušťový ozub zvedne a zub nataženého kohoutu vyklouzne ze záchyty zubu kohoutu a kohout svojí údernou plochou udeří do převodní kulisy, která přenesení úder na zápalník, který následně udeří na zápalku nábojnice a dojde k výstřelu. Postupné uvolnění kohoutu je zobrazen na obrázku 14.



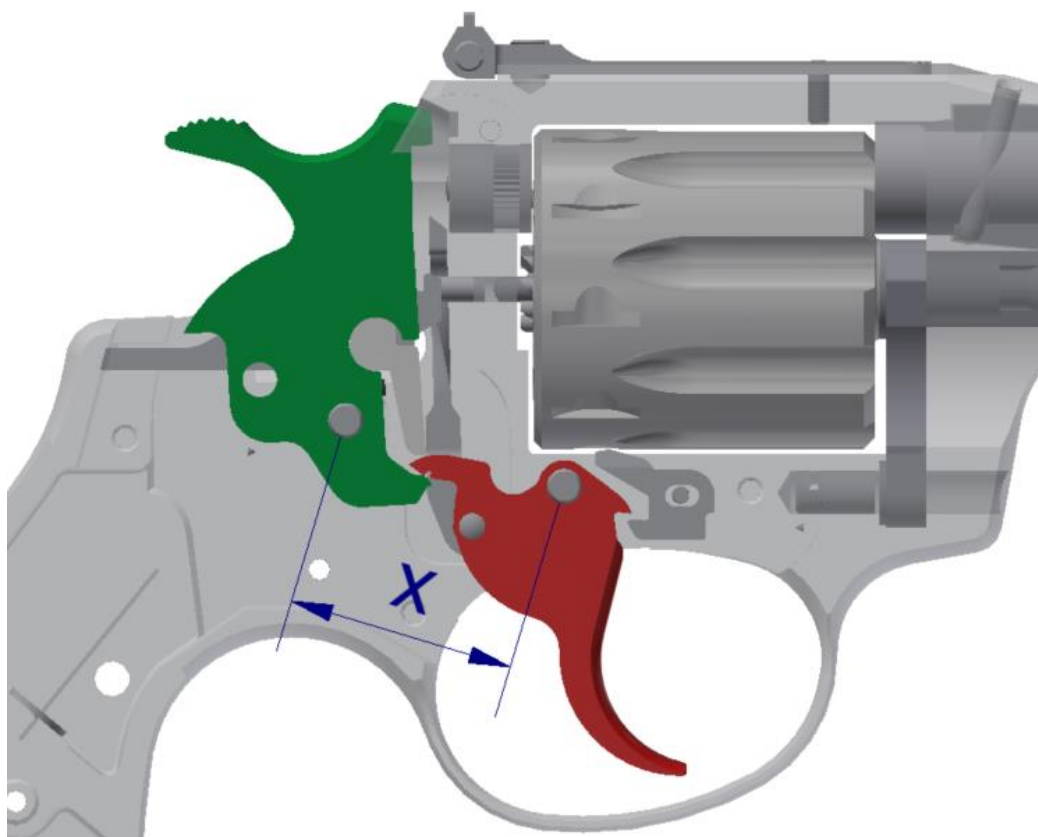
Obr. 14) Uvolnění kohoutu při SA výstřelu

Pro spolehlivý záchyt kohoutu a následný výstřel je při SA podstatný kontakt právě mezi zubem kohoutu a záchytem zubu kohoutu na spoušti. Pokud by byl dotek ploch moc malý, nemuselo by dojít k zachycení kohoutu, což by způsobovalo nemožnost výstřelu.

V případě, že by byl dotek naopak moc hluboký, mohlo by dojít k zaseknutí kohoutu ve spoušti a následné nemožnosti jakéhokoliv pohybu mechanismu. S přihlédnutím k tomu, že v současné výrobě je největší problém právě s interakcí mezi spouští a kohoutem je věnována tato práce těmto dílům.

4.2.4 Rám revolveru

Pro plynulou funkci revolveru a správný kontakt mezi kohoutem a spouští, lze za funkčně důležitý prvek považovat také vzdálenost kolíku kohoutu a kolíku spouště, kolem kterých se součásti otáčejí. Tato vzdálenost je zakótována na obrázku 15, a protože jsou kolíky uchyceny v rámu, závisí jejich vzdálenost také na správné výrobě rámu. Protože momentálně vyžaduje rám zlepšení i jiných vlastností, není předmětem této diplomové práce.



Obr. 15) Vzdálenost kolíků spouště a kohoutu v rámu revolveru

5 POPIS KONTROLY VYBRANÝCH SOUČÁSTÍ

V této kapitole je popsán postup kontroly vybraných součástí revolveru, tedy kohoutu a spouště. Ve firmě probíhá kontrola součástí na oddělení technické kontroly (OTK). Kontrola je zaměřena na funkčně, ale především výrobně důležité rozměry a probíhá po různých technologických operacích. Výstupní kontrola součástí ve firmě neprobíhá.

V postupu je zpracována mezioperační kontrola daných součástí, tedy kontrola po vybrané výrobní operaci. Tato kontrola je určena k ověření kvality výrobního procesu (upnutí, stav nástrojů) tak i kvality vyrobeného dílu. Byla vybrána kontrola po takové operaci, kde se kontroluje většina rozměrů a lze ji považovat za jednu z nejdůležitějších. Výsledky měření se zapisují do předepsaného kontrolního protokolu, kde se následně označí, zda měřený rozměr vyhovuje či nikoliv. Rozhodnutí o stavu výrobního procesu, případně jeho zastavení, tak jako rozhodnutí, zda neshodnou součást vyřadit či nikoliv, provádí zaměstnanec oddělení technické kontroly, případně po konzultaci s konstruktérem nebo technologem.

Kontrola všech součástí může probíhat několika postupy, přičemž nikde není specifikováno, které měřidlo nebo postup použít. Volba měřidla a měřicí metody závisí pouze na samotném metrologovi a přístupnosti rozměru. V postupech jsou popsány různé možnosti a modifikace měření jednotlivých rozměrů, tak jak byly popsány jednotlivými operátory.

5.1 Měřicí vybavení

V následující kapitole je uvedeno metrologické vybavení oddělení technické kontroly. Je zde zmíněno pouze vybavení použité ke kontrole kohoutu a spouště. Navíc je zde zmíněn souřadnicový měřicí stroj, na kterém by v budoucnu mohla probíhat automatizovaná kontrola vybraných součástí. Vybavení je zobrazeno na obrázcích v příloze G.

5.1.1 Výškoměr s páčkovým úchylkoměrem

Výškoměry lze provádět měření v jedné ose, a to ve svislé souřadnici. Jejich použití je vhodné v případě požadavku na rychlé a přesné měření, měření je však limitováno velikostí doteku kuličky. [20]

Ve firmě se nachází digitální výškoměr s páčkovým úchylkoměrem značky Mitutoyo, který je schopen měřit ve svislé souřadnici a dotyk je realizován kuličkou. Výškoměr disponuje rozlišením 0,01 mm. Díky páčkovému úchylkoměru je možné při měření najít nejvyšší bod na měřeném prvku. Výškoměr je také pravidelně kalibrován.

5.1.2 Optický měřicí mikroskop

Měřicí mikroskopy jsou bezdotykové, dvousouřadnicové měřicí přístroje využívající při měření optických metod. Měřená součást je osvětlena paralelním svazkem paprsků a její stínový obraz je zaměřen pomocí okuláru s nitkovým křížem. V případě, že je mikroskop vybaven otočným stolem, lze měřit v polárních i pravoúhlých souřadnicích. [20]

Firma disponuje dílenským mikroskopem značky Carl Zeiss. Optický přístroj je schopen měřit délky a úhly ve dvou osách. Mikroskop je vybaven elektrickými číslicovými indikátory pro dvě osy a jeho rozlišení je 0,001 mm.

5.1.3 Sada válečkových měrek

Válečkové měrky jsou pevná měřidla, kde každý kus zhmotňuje jeden stanovený rozměr a umožňuje rychlé měření. Při vsunutí měrky do měřeného otvoru musí být možné ji volně zasunout a její plocha musí těsně přiléhat k plochám měřeného otvoru. [20]

Firma disponuje dvěma sadami s rozsahy 1,00 – 5,99 mm a 6,00 – 9,99 mm. Válečkové měrky se používají především pro ověření správnosti průměru děr a pro případné upnutí do přípravku nebo prizma.

5.1.4 Sada koncových měrek

Koncové měrky jsou základem měření délek ve strojírenské výrobě. Jsou to etalony délky, přičemž každá reprezentuje specifickou hodnotu délky. Koncové měrky mohou být použity jak k přímému měření, tak k ověřování, kalibraci nebo nastavení měřidel a přípravků. [20]

Firma je vybavena několika sadami koncových měrek, a primárně se využívá sada 91 kusů, které jsou vyrobeny ve třídě přesnosti dva, jedná se tedy o dílenské měrky pro běžné měření.

5.1.5 Souřadnicový měřicí stroj DeMeet 400

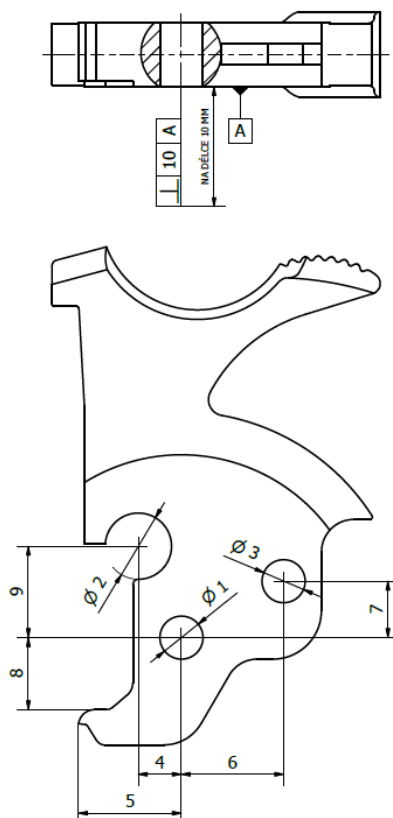
Firma vlastní 3D souřadnicový stroj DeMeet 400, na kterém může probíhat optické i dotykové měření. Pro dotykové měření je vybaven sondou značky Renishaw. Optické měření je realizováno telecentrickou optikou. Veškeré ovládání a vyhodnocování výsledků probíhá v softwaru Approve for MeMeet. [21]

Na souřadnicovém stroji však momentálně nedochází ke kontrole kohoutů ani spouští.

5.2 Kontrola kohoutu

Výrobní proces kohoutu se skládá z několika po sobě jdoucích operací od žíhání, přes obrábění až po broušení, jejichž přesný sled a postup je však výrobním tajemstvím. Kontrola kohoutu na oddělení technické kontroly je předepsána technologickým postupem pouze po vybraných operacích a kontrolují se pouze vybrané rozměry.

Další popis se zaměřuje na kontrolu kohoutu po jedné z obráběcích operací, kde se již na kohoutu vyskytuje většina důležitých rozměrů z hlediska funkce. Celkem je v tomto případě kontrolováno 10 prvků. Kohout ještě nemá konečnou podobu a dle technologického postupu je předepsaná kontrola každého 30 kusu. Na obrázku 16 jsou znázorněny prvky čísla 1-10, které se kontrolují. Kótování je převzato z originálního výkresu společnosti. Kromě rozměru číslo 5 se jedná o definitivní rozměry kohoutu.

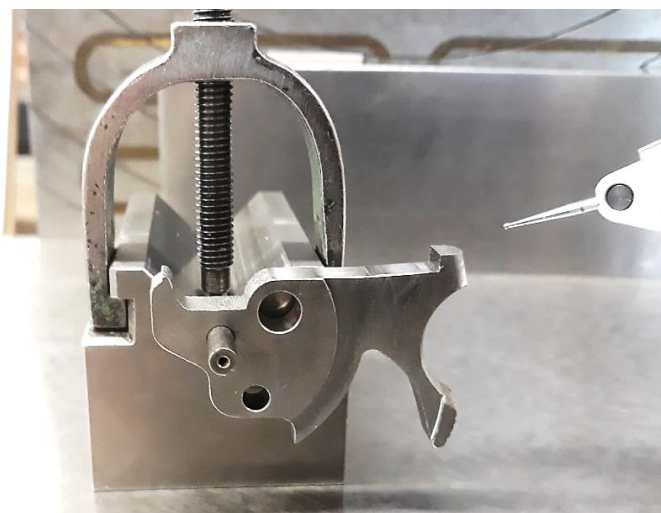


Obr. 16) Kontrolované prvky kohoutu

5.2.1 Postup měření pomocí výškoměru s páčkovým úchylkoměrem

Měření může být prováděno výškoměrem s páčkovým úchylkoměrem na granitové nebo litinové průměrné desce za využití prizma se svorkou pro uchycení válečkové měrky.

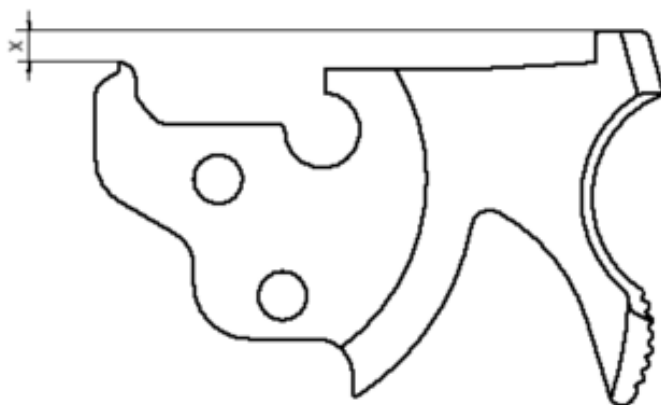
Jako první jsou pomocí válečkových měrek ověřeny průměry děr kohoutu (na obrázku 16 znázorněno kótami s číslem 1, 2 a 3) přičemž měrka, kterou je určen průměr díry pro čep zůstane v díře zasunuta a je za ni kohout uchycen do prizma, jako je znázorněno na obrázku 17.



Obr. 17) Upevnění kohoutu v prizma pro měření výškoměrem

Po upevnění kohoutu je třeba jej vyrovnat. K vyrovnávání je potřeba vyrovnávací rovina, která by měla být co nejdelší. Vzhledem ke složitosti součásti je obtížné najít a zvolit dostatečně velkou vyrovnávací rovinu. V tomto případě operátor většinou volí rovinu plochy dorazu. Kohout je vyrovnán tak, aby vzdálenost mezi plochou dorazu a špičkou zubu odpovídala specifikaci na výkresu. Vyrovnávací rozměr je zakótován na obrázku 18 kótou X.

Vyrovnávání je časově náročný proces, kde se opakovaně měří dotekem výškoměru vzdálenost X, a mírnými doteky se natáčí kohout, dokud není dosaženo požadované velikosti. V minulosti byl také kohout vyrovnáván v závislosti na rozteči děr.



Obr. 18) Vyrovnávací rozměr kohoutu

Po vyrovnání probíhá standardní měření vybraných kót na výkrese dle obrázku 16. Kóta číslo 4 je měřena tak, že za pomoci páčkového úchylkoměru je nalezen nejvyšší bod válečkové měrky zasunuté v díře pro čep. Poté je výškoměr vynulován a je změřena vzdálenost k nejnižšímu bodu otvoru pro západku kohoutu. Naměřená hodnota je záporné číslo, znaménko se však neuvažuje, k tomuto číslu je přičten poloměr díry pro čep a poloměr díry pro západku kohoutu, tyto poloměry, respektive průměry byly určeny na začátku měření válečkovými měrkami. Tímto způsobem je naměřen, následně vypočten rozměr prvku s kótou číslo 4.

Postup se opět může mírně lišit, protože druhý operátor po nalezení nejvyššího bodu válečkové měrky vynuluje výškoměr a sníží jej o velikost poloměru válečkové měrky a poté výškoměr opět vynuluje a zahájí měření k nejnižšímu bodu druhé díry. Takto potom dochází k měření od středu díry pro čep.

Měření ostatních rozměrů probíhá analogicky. Vychází se z kótování výkresu, přičemž se výškoměrem zaměřuje nejvyšší bod válečkové měrky, případně nejnižší body děr, a proto je nutné v některých případech přičítat nebo odčítat jejich poloměry. Nakonec dochází k měření předepsané kolmosti. Celé prisma s kohoutem se otočí o 90° boční stranou kohoutu nahoru a pomocí doteku výškoměru je na několika místech dané plochy realizován dotyk, přičemž se kontroluje, zda je odchylka na úchylkoměru ve všech místech v tolerancích.

5.2.2 Postup měření na optickém měřicím mikroskopu

Další možností, jak změřit požadované rozměry, je za pomoci dílenského mikroskopu. Vzhledem k tvarové složitosti kohoutu jej nelze volně položit na stůl mikroskopu. Konec palečnicku je širší než zbytek kohoutu, a proto je třeba vhodně kohout podložit koncovou měrkou. Dále je zub a dorazová plocha kohoutu opřena o koncové měrky (obr. 19). Jedná se o stejnou formu vyrovnání, jako v případě měření výškoměrem, kdy je zub opřen o koncovou

měrku o velikosti rozdílu mezi špičkou zubu kohoutu a dorazovou plochou dle předepsané velikosti na výkresu.

Dříve byl kohout vyrovnáván úhlovým natočením stolu mikroskopu na základě předepsané rozteče dvou děr.

Následně probíhá klasické měření za pomoci dílenského mikroskopu. Záměrným nitkovým křížem je zaměřen střed kružnice nebo požadovaná hrana kohoutu, poté dojde k vynulování číslíkové indikace a posunu stolu mikroskopu, aby nitkový kříž lícovale s dalším prvkem na kohoutu, ke kterému je vybraný rozměr kótován. Poté je na číslíkové indikaci odečtena hodnota vzdálenosti a zapsána do protokolu. K měření dochází v ose x a y. Měří se rozměry číslo 1–9 označené na obrázku 16. Jediná charakteristika, která nemůže být na mikroskopu změřena je kolmost. Ta se i v tomto případě ověřuje výškoměrem s páčkovým úchylkoměrem.



Obr. 19) Podpěrný kohout na stole mikroskopu

5.2.3 Vyhodnocení měření

Naměřené hodnoty se zapisují do předem připraveného kontrolního protokolu, ve kterém jsou již předepsány kontrolované rozměry s příslušnými tolerancemi, a kde je následně křížkem zaznačeno, zda rozměr vyhovuje či nikoliv.

Neexistuje žádný konkrétní předpis, kdy se považuje výrobní proces za vyhovující. Rozhodnutí, zda jsou vybrané součásti použitelné a zda je potřebná úprava výrobního procesu závisí především na operátorech oddělení technické kontroly. Přičemž při nejasnostech se radí s konstruktérem a technologem. V tabulce číslo 4 je zobrazen aktuálně používaný kontrolní protokol při měření kohoutů, kde $X_1 - X_5$ vyjadřují různé velikosti předepsaných tolerancí.

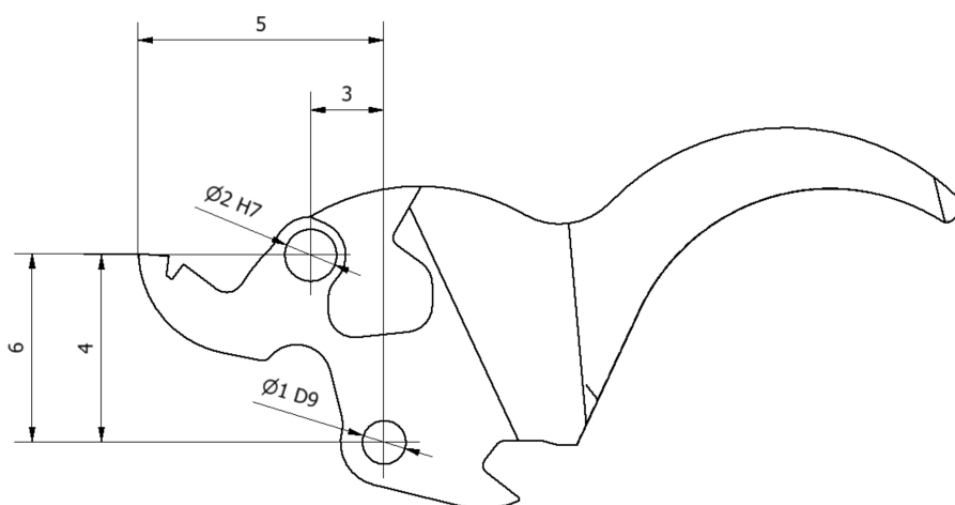
V protokolu je zaznamenán také rozměr číslo 5, i když se nejedná o definitivní rozměr a zub kohoutu bude ještě broušen. V protokolu je uvedena kóta společně s tolerancí pro finální rozměr.

Tab 4) Kontrolní protokol kohoutu

Kontrolní protokol číslo:				List:
Program:		Kontrolováno kusů:		
Název součásti:		Číslo součásti:		
	Kontrolovaný rozměr	Naměřený rozměr	Vyhovuje	
			Ano	Ne
1	$\varnothing 1 + X_1 + X_2$			
2	$\varnothing 2 + X_3$			
3	$\varnothing 3$			
4	$4 \pm X_4$			
5	$5 \pm X_4$			
6	$6 \pm X_5$			
7	$7 \pm X_5$			
8	$8 \pm X_4$			
9	$9 \pm X_4$			
10	10			

5.3 Kontrola spouště

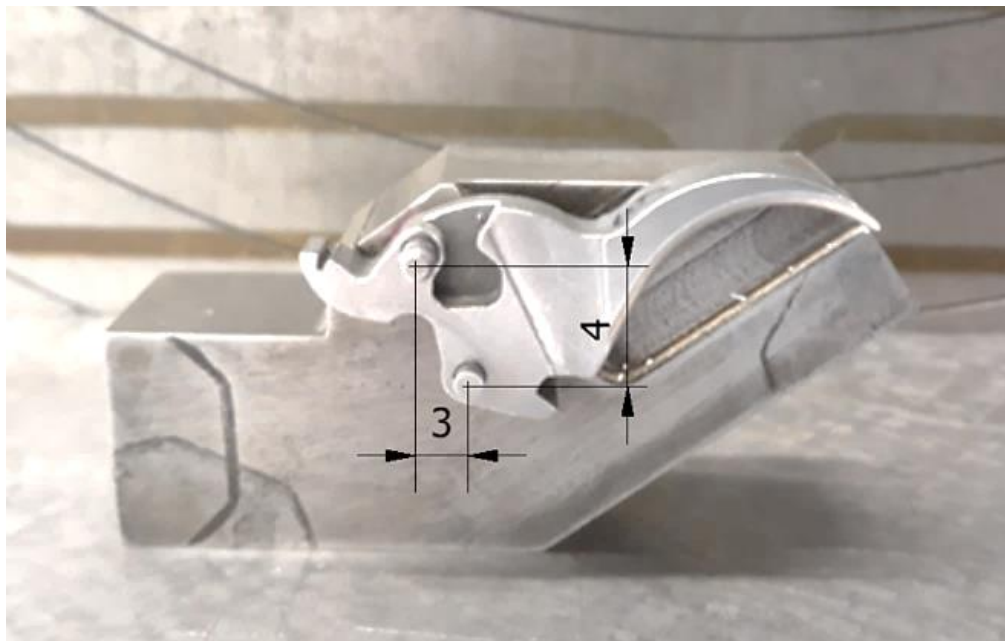
Při kontrole spouště je možné volit z několika postupů měření. Tak jako u kohoutu, je popis v následující kapitole zaměřen na spouště po jisté výrobní operaci a na kontrolu pouze vybraných rozměrů dle technologického postupu. Mezi kontrolované rozměry patří průměry obou děr, které se ověřují pomocí sady válcových kalibrů. Dále je kontrolována rozteč děr v obou osách a vzdálenost díry pro čep spouště od spoušťového ozubu. Kontrolované rozměry jsou znázorněny na obrázku 20.



Obr. 20) Kontrolované prvky spouště

Vzhledem k tvarové složitosti spouště a neexistenci dostatečně dlouhých a rovných ploch je obtížné ji vyrovnat. Při měření se využívá rozteče dvou funkčních děr. Vyrovnání spouště vychází ze vzdáleností označených na obrázku 20 kótou 3 a 4. Pro měření spouště proto existuje speciální přípravek. Jedná se o ocelový přípravek se zalisovaným trnem (pro díru $\varnothing 2H7$) a druhým trnem pro díru ($\varnothing 1D9$), který je možno volně zasunout, aby bylo možno spoušť do přípravku upnout. Výsuvný trn se do přípravku zasouvá volně, avšak s minimální vůlí. Upnutí spouště do přípravku je zobrazeno na obrázku 21.

Spoušť je také možno měřit nasazením na válcový kalibr a upevněním do prizma, přičemž je spoušť následně vyrovnána dle roztečí děr uvedených ve specifikaci. Vzhledem však k časové náročnosti vyrovnávání a existenci přípravku se tento postup téměř nepoužívá.



Obr. 21) Upnutí spouště do přípravku

Protože rozteč děr a jejich průměr je ověřen za pomoci přípravku, dochází k měření pouze rozměrů číslo 5 a 6 značených na obrázku 20. I když byl označen záchyť zubu kohoutu za funkčně důležitý prvek nedochází k jeho měření na OTK.

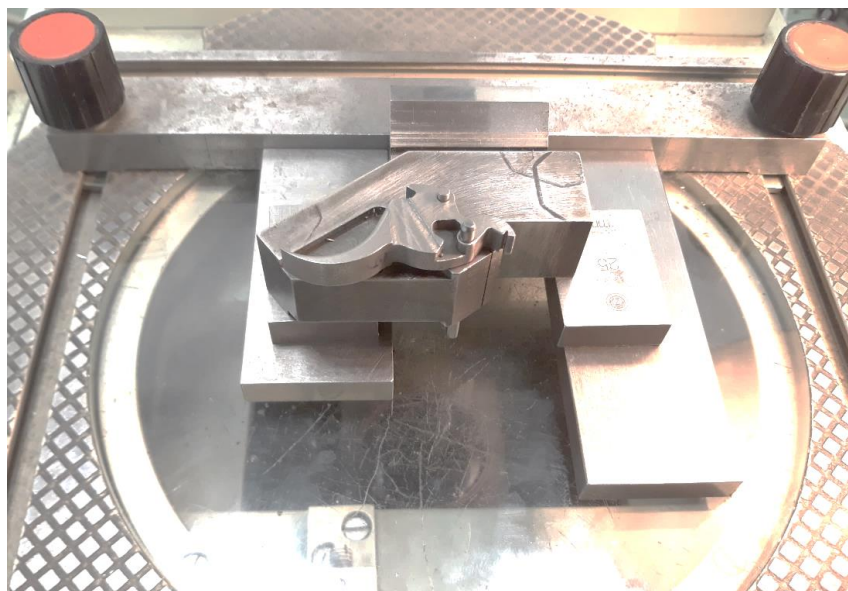
5.3.1 Postup měření pomocí výškoměru s páčkovým úchylkoměrem

Po upevnění do přípravku dochází ke kontrole pouze dvou rozměrů, a to rozměrů zakótovaných čísly 5 a 6 na obrázku 20. Pro určení rozměru číslo 6 je dotekem výškoměru nalezen nejvyšší bod výsuvného trnu ($\varnothing 1D9$), na obrázku 21 se jedná o dolní kolík a výškoměr je vynulován. Druhý dotek je realizován na špičce ozubu spouště. Pro dosažení správné hodnoty je třeba sečíst naměřenou hodnotu s poloviční velikostí výsuvného trnu přípravku. Způsob odečítání výškoměru se opět může mírně lišit, jeden z operátorů po nalezení nejvyššího bodu trnu vynuluje výškoměr, sníží jej o jeho poloměr a opět vynuluje. Takto dochází k měření od středu díry jako je zakótováno na výkresu specifikace.

Následně je přípravek otočen o 180 stupňů a vzdálenost středu díry a ozubu spouště je změřena i v druhé ose. Pro měření je však zapotřebí upravit polohu páčkového úchylkoměru směrem nahoru, protože kvůli orientaci přípravku je měřen nejnižší bod ozubu spouště a nejnižší bod výsuvného trnu $\varnothing 1D9$.

5.3.2 Postup měření na optickém měřicím mikroskopu

Požadované rozměry mohou být změřeny také na dílenském mikroskopu. Spoušť zůstane upevněna ve stejném přípravku jako při měření výškoměrem a celý přípravek je umístěn na stůl mikroskopu, jak je uvedeno na obrázku 22. Vzhledem k délce trnů musí být přípravek podepřen na okrajích několika koncovými měrkami. Měření na dílenském mikroskopu probíhá na stejném principu jako u kohoutu, pomocí záměrného kříže a čar jsou určeny rozměry 5 a 6 dle obrázku 20.



Obr. 22) Umístění spouště na stole mikroskopu

5.3.3 Vyhodnocení měření

Ani v případě spouští není pevně dána přijatelná hranice pro označení výrobního procesu jako způsobilého. Rozhodnutí opět závisí na operátorech OTK a případné konzultaci s konstruktérem nebo technologem. Vzhledem k malému počtu kontrolovaných rozměrů již nedochází k záznamu do kontrolního protokolu. Protože je většina rozměrů ověřena pomocí přípravku, nedochází k vyhodnocení jejich tolerancí a jsou pouze vyhodnoceny jako vyhovující nebo nevyhovující v závislosti na úspěšném umístění spouště do přípravku.

Na OTK nedochází ke kontrole záchyty zubu kohoutu na spoušti, který je podstatný z hlediska funkce revolveru.

6 ANALÝZA MĚŘENÍ

V této kapitole je analyzován nynější přístup k měření kohoutu a spouště společně s analýzou opakovatelnosti a reprodukovatelnosti současného systému měření. Cílem analýzy je odhalit zdroje variability stávajícího systému měření a určit jeho ukazatele opakovatelnosti a reprodukovatelnosti.

6.1 Postupy měření

Při kontrole jakékoliv součásti může být obecně využito několik postupů a měřidel. Ani jeden postup není standardizovaný či nějak popsáný. Ve výsledku má každý operátor svůj vlastní postup s preferovaným měřidlem, přičemž pokud není preferované měřidlo k dispozici, provede měření jiným způsobem.

Nejednoznačnost a nekonzistenci naměřených výsledků mohou způsobit právě tyto rozdíly v postupech měření, vyrovnaní součástí a použitých měřidlech.

6.2 Měřidla

Podstatný vliv na výsledek měření může mít také rozdíl mezi jednotlivými měřidly. Výhodou výškoměru je možnost nalezení nejvyššího bodu na měřeném prvku díky páčkovému úchylkoměru. Nevýhodou je však měření pouze v jedné ose a velikost dotekové kuličky, kterou v některých případech nelze měřit malé plochy součástí.

Samotný dotek kuličky a manipulace s vyrovnaným kohoutem může také změnit polohu vyrovnaného kohoutu, což může mít za následek zkreslení měření všech dalších rozměrů. Vyrovnávání kohoutu na požadovaný rozměr je poněkud zdlouhavý proces, který i zkušenějšímu metrologovi může trvat několik minut a celé měření výškoměrem tak tvá delší dobu.

Výhodou mikroskopu je rychlejší, a především bezdotykové měření, na druhou stranu jeho významnou nevýhodou je zaměřování hran pomocí nitkového kříže, při kterém hraje roli kvalita zraku obsluhy. Stínový obraz součásti je černé barvy společně se záměrným křížem a čarami se nachází na tmavě zeleném pozadí, což může při zaměřování působit problémy. Pochybovat se dá také o technickém stavu dílenského mikroskopu.

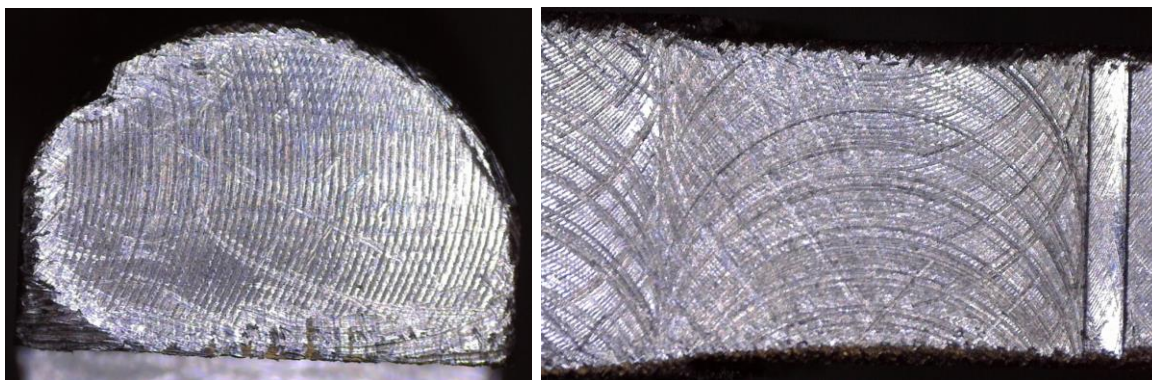
6.3 Rozhodnutí o shodě či neshodě se specifikací

Tak jako neexistuje žádný stanovený postup měření, tak také neexistuje směrnice pro rozhodnutí, zda součást vyhovuje či nikoliv. K měření dochází na základě výkresu, na kterém jsou uvedeny požadavky na tolerance jednotlivých rozměrů. Tyto výkresy však nejsou vždy směrodatné a samotné rozhodnutí o použitelnosti měřených dílů a stavu výrobního procesu je na samotném operátorovi OTK. Rozhodnutí je tedy prováděno především na základě zkušeností.

6.4 Povrch a tvar součástí

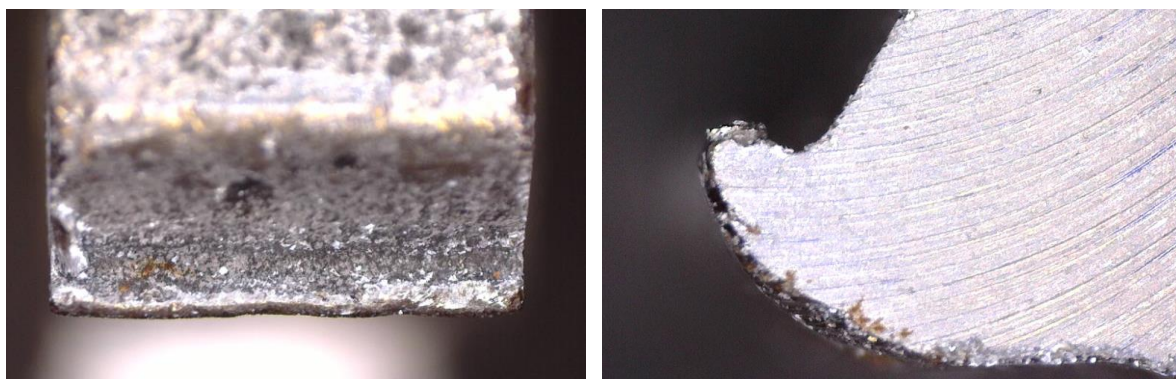
Na měření a vyrovnaní součástí může mít také značný vliv kvalita jejich povrchu. Některé plochy byly pozorovány USB mikroskopem Dino-Lite AM4115ZTL s 1,3 Mpx kamerou, bílým LED osvětlením a možností plynulého zvětšení součástí. [22]

Jednou z významných ploch při vyrovnávání a upínání kohoutu je plocha dorazu, jejíž detail je zobrazen na obrázku 23 a). Na obrázku 23 b) je zobrazena plocha úderné plochy kohoutu pozorována pod mikroskopem.



Obr. 23) Povrch plochy a) dorazu b) úderné plochy kohoutu

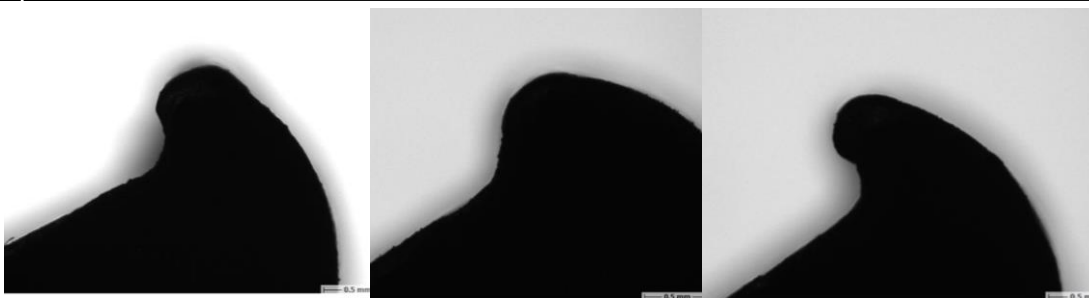
Překážkou v měření jsou i jiné plochy, k nimž jsou kótovány a následně i kontrolovány některé rozměry. Dalším případem je zub kohoutu. Při kontrole po dané výrobní operaci ještě není zub broušen do finálního stavu tedy tak, jako vypadá na výkrese, přesto dochází k měření několika rozměrů právě k jeho vrcholu. Zub je však stále pouze v kvalitě odlitku. Na obrázku 24 jsou zobrazeny dva pohledy za zub kohoutu pod mikroskopem.



Obr. 24) Nerovnosti na zubu kohoutu a) horní pohled b) boční pohled

Při porovnání tvaru zubu mezi jednotlivými kohouty, lze pozorovat významnou tvarovou odlišnost. Taková odlišnost může mít zásadní vliv jak na vyrovnání a ustavování kohoutu tak i na naměřené výsledky a následný rozhodovací proces, zda je výrobní proces správně nastaven.

Na obrázku 25 lze pozorovat, že zuby polotovarů kohoutů jsou značně odlišné na každém kusu. Zatím není třeba zpochybňovat vliv takových změn na výslednou funkci revolveru, protože v další operaci dochází k jeho broušení. Lze však pochybovat o vypovídající hodnotě, takového měření. Během měření je kontrolován nejvyšší bod tohoto zubu, přičemž rozdíly mezi jednotlivými zuby jsou patrné již při pohledu pouhým okem. Vyhodnocování takového rozměru nemusí vždy přinášet dostačující vypovídající hodnotu o stavu výrobního procesu.



Obr. 25) Různé tvary zubů polotovaru kohoutu

Odlitek spouště má podobnou kvalitu jako kohout, protože však nedochází k obrábění bočních ploch, není podstatné se na tyto plochy zaměřovat, protože jsou všechny pouze ve stavu odlitku. Naopak ozub spouště lze považovat za funkčně důležitý prvek a zároveň se k němu měří několik rozměrů. Na obrázku 26 je zobrazeno několik ozubů spouští společně se záchyty pro zub kohoutu. Na ozubech spouští nelze pozorovat tak významné rozdíly v jejich tvaru jako u kohoutů.



Obr. 26) Spoušťové ozuby se záchytem zubu kohoutu

6.5 Vyrovnání kohoutu

Se stavem povrchu kohoutu popsaném v kapitole 6.4. souvisí i samotné vyrovnání kohoutu při měření. Vyrovnání probíhá na základě špičky zubu a dorazové plochy, přičemž jejich kvalita není pro takové vyrovnání dostatečná.

Plocha dorazu kohoutu je v některých případech nedokonale opracovaná a vzhledem k tomu, že se na základě její rovinnosti vyrovnává kohout při měření výškoměrem nebo se o ni opírá kohout při měření na mikroskopu, může být celé měření značně zkresleno právě kvalitou jejího povrchu.

Dalším prvkem sloužící pro vyrovnání kohoutu je jeho zub. Kohout se opírá o špičku zubu, pokud je umístěn na stole mikroskopu nebo se vyrovnává na základě doteku kuličky výškoměru špičky zubu. Vzhledem k velké variabilitě velikosti a tvarů kohoutu (obr. 24 a 25) může dojít ke zkreslení výsledků měření již na samém počátku.

6.6 Přípravek pro spoušť

Přípravek pro upevnění a měření spouště je sice rychlý způsob, jak spoušť vyrovnat, ovšem disponuje několika nevýhodami. Jak pevný, tak výsuvný trn mají pouze jednu velikost a v některých případech vzniká problém se samotným zasunutím trnů do spouště a jejím upevněním do přípravku.

Při problémech se zasunutím operátor nasadí šikmo do díry na spoušti šroubovák a několikrát do něj udeří kladivem, aby zvětšil její díru a mohl zasunout požadovaný trn. Při vytažení trnu je občas nucen použít značnou sílu a kleště, proto by se dalo pochybovat o stavu povrchu a kruhovitosti daných trnů.

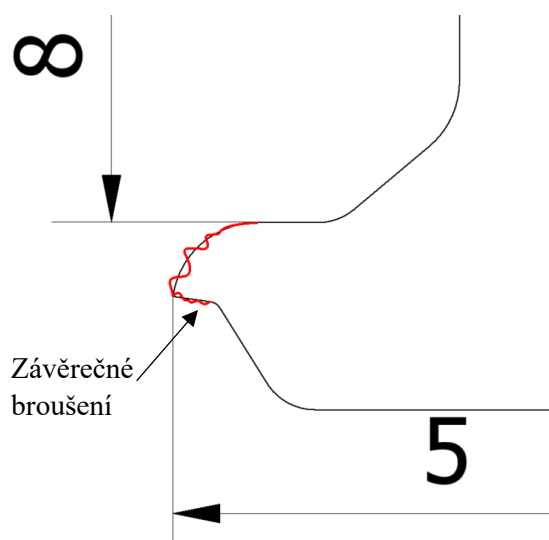
V některých případech při zasunutí trnu vzniká uložení s vůlí a spoušť je v přípravku upevněna volně. Tento problém se nedá operativně vyřešit, a proto dochází k dalšímu měření i přes volné uložení spouště. Takový postup může zkreslit výsledky měření.

Obecně lze váhat nad stavem celého přípravku, především rovinností jeho ploch a jeho celkovým opotřebením. Vzhledem k tomu, že je přípravkem ověřována rozteč děr na spoušti stojí za zvážení, zda i když lze spoušť do přípravku nasadit, jestli je rozteč děr opravdu v předepsaných tolerancích.

6.7 Hodnocení tvaru součástí

Současně nastavený proces kontroly ve firmě je takový, že je kontrolováno pouze několik rozměrů, navíc není předepsaná výstupní kontrola kohoutů a spouští a nelze se tedy spolehnout, že současný systém měření dokáže odhalit především nefunkční kusy. Až při finální montáži se opravitelné kohouty a spouště upraví na požadovaný rozměr.

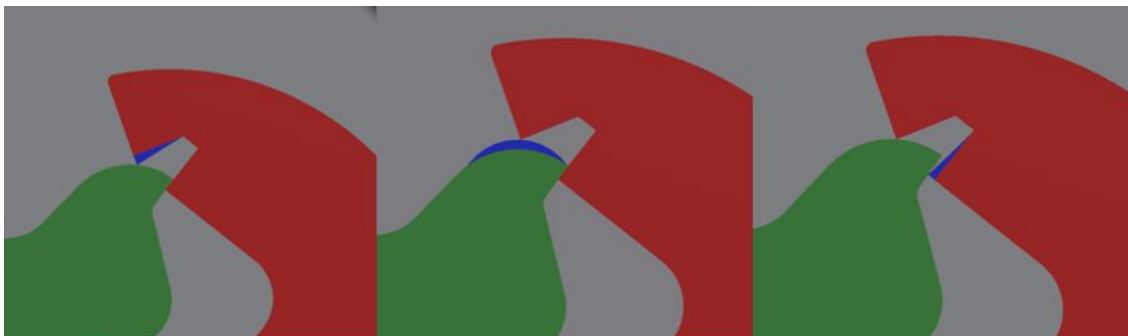
Kladné i záporné odchylky od tvaru zubu kohoutu, jejichž vliv na funkčnost je rozebrán níže, jsou naznačeny na obrázku 27 červeně. Většinu takových změn nynější systém měření není schopen odhalit. Na zubu je kontrolována poloha pouze jednoho bodu navíc před závěrečným broušením zubu kohoutu.



Obr. 27) Změny tvaru zubu kohoutu

Na obrázcích níže jsou na modelu mechanismu zobrazeny různé defekty, tedy odchylky od tvaru profilu zubu a záchytu zubu kohoutu na spoušti. Takové odchylky mohou mít významný vliv na funkci revolveru, konkrétně na správný kontakt kohoutu se spouští. Především by mohlo dojít k zaseknutí zubu kohoutu ve spoušti nebo k vyklouznutí kohoutu ze spouště a v obou případech by revolver nebyl schopen výstřelu.

Experiment s odchylkami od ideálního tvaru byl proveden pouze v rovině teoretické za použití modelu mechanismu. Model se mírně liší od skutečnosti a nezahrnuje jednotlivé silové interakce a elastické deformace dotýkajících se součástí. Modře je zobrazen nadbytek materiálu na kritických místech součástí a bíle je naopak znázorněn chybějící materiál vzhledem ke specifikaci.



Obr. 28) Nadbytek materiálu na částech mechanismu

Pokud je na některých částech nadbytek materiálu (obr. 28), většinou dochází k nedostatečnému kontaktu zubu kohoutu a záchytu zubu na spoušti. Pokud by tento kontakt byl nedostatečný mohlo by docházet k nekontrolovatelnému vyklouznutí kohoutu ze spouště, v extrémním případě by nebylo možné zub kohoutu do záchytu zaklesnout.

Podobný jev lze pozorovat i při úbytku materiálu (obr. 29) na kritických místech součástí. Následkem takových odchylek by mohlo docházet k zasekávání nebo vyklouznutí kohoutu ze záchytu spouště. Firma má stanovenou minimální velikost dotyku zubu kohoutu na ozubu spouště δ na obrázku 29, specifickou velikost lze ovšem opět aplikovat pouze na reálný mechanismus.



Obr. 29) Úbytek materiálu na spoušti

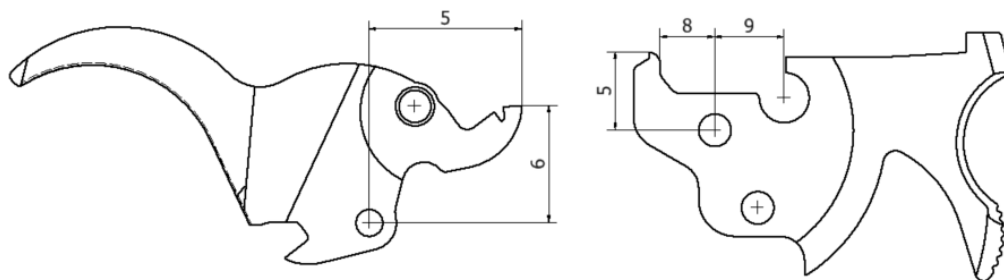
Většina těchto odchylek je odhalena až při finální montáži mechanismu a správnou funkci spoušťového a bicího ústrojí zajišťují operátoři montáže, kteří kombinují vhodné součásti a za pomoci ručních operací, především broušení a pilování součástí, se snaží dosáhnout plynulého chodu mechanismů.

6.8 Realizace analýzy GRR

Vliv na výsledky měření mohou mít odlišné postupy měření i měřidla, přípravky nebo samotné díly. Pro stanovení skutečných zdrojů variability měření je vhodné provést statistickou analýzu současného stavu systému měření za účelem odhalení zdrojů variability či vzájemných interakcí vstupních faktorů.

V této části se nachází postup a výsledky analýzy opakovatelnosti a reprodukovatelnosti provedené ve firmě. Analýza probíhala na dvou vybraných dílech, dvěma operátory (S, V) na dvou různých měřidlech, výškoměru a mikroskopu. Analýza tedy umožní porovnat mezi sebou jak operátory, tak i samotná měřidla. Protože analýza GRR může být provedena s naměřenými hodnotami nebo s odchylkami od nominální hodnoty, byly dále vyhodnocovány pouze odchylky od nominální hodnoty z důvodu anonymizace skutečných hodnot. Naměřená data se nachází v příloze A.

Pro výsledné vyjádření výsledků analýzy byly zvoleny dva rozměry na spoušti a tři rozměry na kohoutu. Vybrané rozměry jsou znázorněny na obrázku 30 a jejich značení je shodné se značením při popisu postupu měření. Rozměry číslo 8 a 9 na kohoutu jsou již rozměry finální, naopak rozměry číslo 5 a 6 na spoušti a 5 na kohoutu nejsou rozměry finální, a ještě bude docházet k jejich úpravě v pozdějších výrobních operacích. Volba rozměrů se odvíjela od jejich funkčního hlediska tak i z hlediska složitosti měření. Vybírání dílů probíhalo náhodně z několika výrobních směn a zároveň bylo do výběru přidáno několik dílů označených jako neshodné.

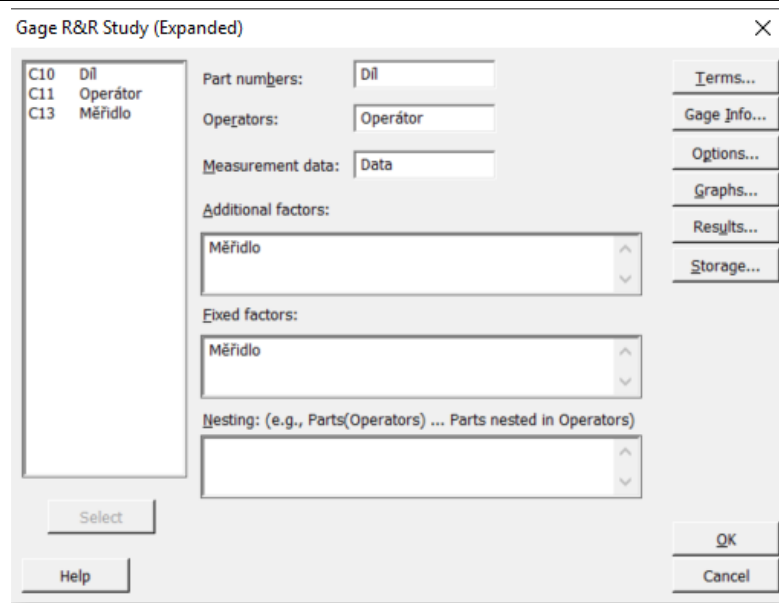


Obr. 30) Vybrané rozměry pro GRR analýzu

6.8.1 Postup v softwaru Minitab

Naměřená data byla nejprve převedena na odchylky od jmenovitých hodnot a zapsány do listu v softwaru Minitab 17. Formát vstupních dat musí být rozdělen do jednotlivých sloupců. Byl tedy vytvořen sloupec pro číslo dílu, operátora, naměřená data a použitá měřidla. Dále bylo horním menu zvoleno Stat > Quality Tools > Gage Study > Gage R&R Study (Expanded).

Protože do studie vstupuje více faktorů, provádí se rozšířená (expanded) analýza. Pro vyhodnocení analýzy byla použita metoda ANOVA. Dále bylo vyplněno dialogové okno dle obrázku 31. Jako další faktor vstupují do studie dvě různá měřidla. Měřidla byly zvoleny jako faktor fixní, protože byly vybrány všechny měřidla, kterými momentálně měření probíhá.



Obr. 31) Dialogové okno v programu Minitab

Ve výběru Options byla vyplněna předepsaná tolerance daného rozměru. Nakonec v záložce Graphs byly vybrány požadované grafy v reportu. Po stisku tlačítka OK dojde k vygenerování numerických a číselných výsledků analýzy. Všechny numerické i grafické výsledky se nachází v příloze B.

6.8.2 Analýza výsledků

Nejdůležitější údaje analýzy se v Minitabu nachází na konci numerických výsledků, kde jsou uvedeny jednotlivé zdroje variability ve studii a jejich velikost vůči celkové variabilitě v procentech. Tyto údaje pro jednotlivé rozměry jsou uvedeny v tabulce 5.

Tab 5) Numerické výsledky GRR analýzy ve firmě

	%GRR	Opakovatelnost <i>EV</i>	Reprodukovatelnost <i>AV</i>	Variabilita dílů <i>PV</i>	<i>ndc</i>
	[%]	[%]	[%]	[%]	[-]
Kohout rozměr č. 5	44,94	34,62	61,94	89,33	2
Kohout rozměr č. 8	50,3	46,32	19,61	86,43	2
Kohout rozměr č. 9	65,48	55,84	34,16	75,58	1
Spoušť rozměr č. 5	48,14	39,27	27,84	87,65	2
Spoušť rozměr č. 6	37,75	28,12	25,19	92,62	3

Zběžný pohled na výsledky v tabulce 5 naznačuje, že hodnoty ukazatele %GRR jsou vždy větší, než stanovený limit 30 % a systém měření vyžaduje zlepšení. Ve čtyřech případech z pěti je opakovatelnost větší než reprodukovatelnost. To znamená, že vzniká vysoká variabilita, když stejný operátor měří opakovaně stejný díl. Tento výsledek může být způsoben používáním různých metod a měřidel při měření.

Protože byla použita rozšířená analýza opakovatelnosti a reprodukovatelnosti, dostaneme kromě základních výsledků i výsledky vlivu měřidla, operátora a interakcí mezi dílem, operátorem a měřidlem na reprodukovatelnost (tabulka 6), přičemž x vyjadřuje žádnou nebo nevýznamnou interakci.

Tab 6) Tabulka vlivu faktorů a jejich interakcí na reprodukovatelnost

	Operátor [%]	Měřidlo [%]	Díl x Operátor [%]	Díl x Měřidlo [%]	Měřidlo x Operátor [%]
Kohout rozměr č. 5	9,83	24,86	x	17,48	x
Kohout rozměr č. 8	13,22	14,49	x	x	x
Kohout rozměr č. 9	0,00	21,21	26,78	x	x
Spoušť rozměr č. 5	6,25	21,76	x	14,20	x
Spoušť rozměr č. 6	0,00	13,41	x	21,32	x

V tabulce 6 lze ve všech případech pozorovat větší vliv měřidla než operátora na celkovou reprodukovatelnost. Z hodnot interakcí lze pozorovat, že při žádném měření nevznikala významná interakce mezi měřidlem a operátorem. Z toho lze usoudit, že schopnost operátora měřit konzistentně nezávisí na použitém měřidle. Nejčastějším typem vzniklé interakce je interakce mezi dílem a měřidlem. To znamená, že měřidla nepodávají konzistentní výsledky při měření stejného dílu. Interakce jsou dále rozebrány individuálně u každého rozměru.

Součástí výstupního reportu analýzy je i grafické vyjádření výsledků v šesti základních grafech, jehož součástí jsou sloupcové grafy procentuálních příspěvků jednotlivých zdrojů variabilit (obr.32, vlevo nahoře), přičemž v případě dobrého systému měření, by měla být největším zdrojem variabilita dílů. [23]

Dále se v reportu nachází diagram pro rozpětí, kde je zobrazeno rozpětí každého operátora pro jednotlivé díly (obr. 32, vlevo uprostřed). Pokud nějaký bod v diagramu pro rozpětí leží nad kontrolní limit, daný operátor neměří díl konzistentně. [23]

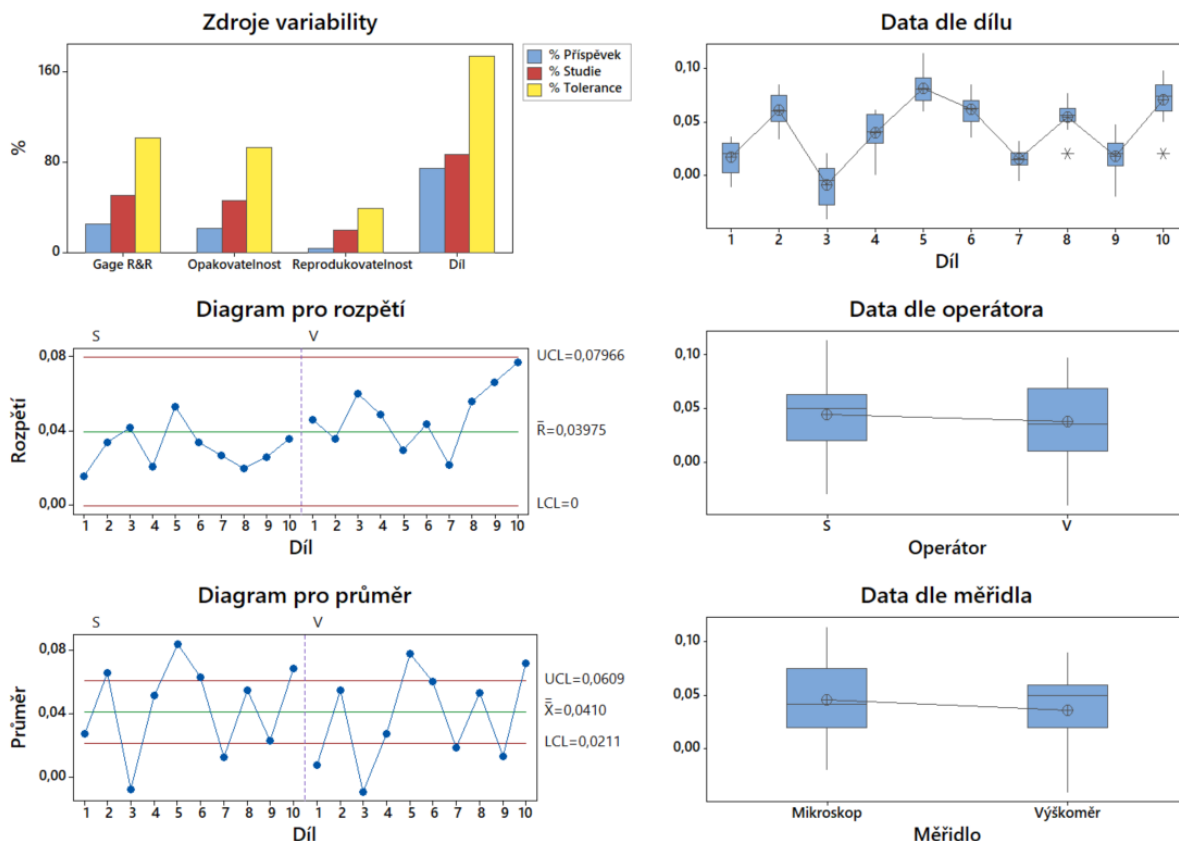
Dalším diagramem je diagram pro průměr jednotlivých operátorů a dílů (obr. 32, vlevo dole). V tomto případě je nezbytné, aby leželo minimálně 50 % bodů mimo kontrolní limity, což potvrzuje dostatečnou variabilitu vybraných vzorků. [23]

Na obrázku 32 vpravo nahoře se nachází krabicové diagramy naměřených hodnot všech operátorů pro jednotlivé díly a lze tak pozorovat variabilitu naměřených výsledků pro jednotlivé díly. Zároveň je celkový průměr každého dílu reprezentován kruhem a hvězda reprezentuje odlehlé hodnoty. [23]

Poslední dva diagramy na obrázku 32 (vpravo uprostřed a dole), tvoří krabicové diagramy všech naměřených dat rozdělených dle operátorů a dle měřidel. Průměr je zde opět označen kruhem a jednotlivé průměry jsou spojeny čarami. V ideálním případě, by měly být spojnice průměrů rovnoběžné s osou x. [23]

Posledním vybraným grafickým výstupem jsou 3 grafy dvou faktorových interakcí mezi operátory, měřidly a díly (příloha B). V grafech jsou vždy vyneseny naměřené průměry pro díl, měřidlo nebo operátora dle požadované interakce. Spojnice těchto průměrů potom indikují vznik interakce. Pokud se spojnice kříží, tedy nejsou totožné nebo rovnoběžné, vzniká mezi danými faktory interakce. [23]

Grafická analýza Kohout - rozměr číslo 8



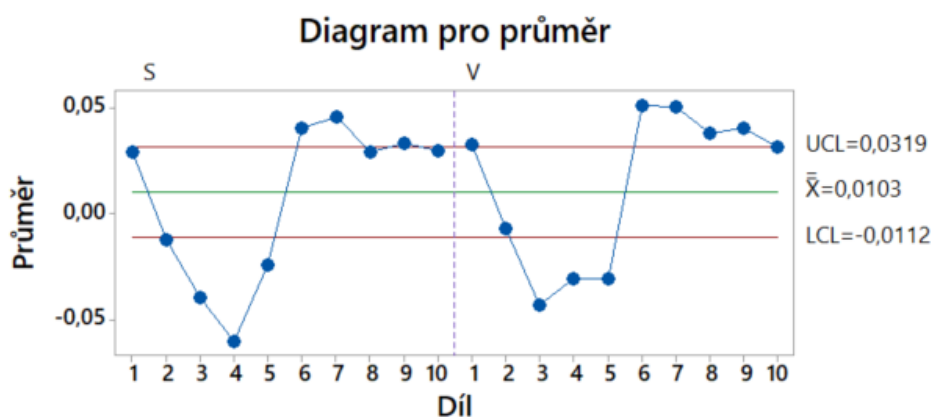
Obr. 32) Grafický výstup z Minitabu – kohout rozměr č.8

Dále budou uvedeny pouze relevantní grafická vyjádření, které mají významný vliv na rozhodnutí týkající se systému měření. Ostatní části grafické i numerické analýzy jsou uvedeny v příloze B.

Kohout rozměr č. 5

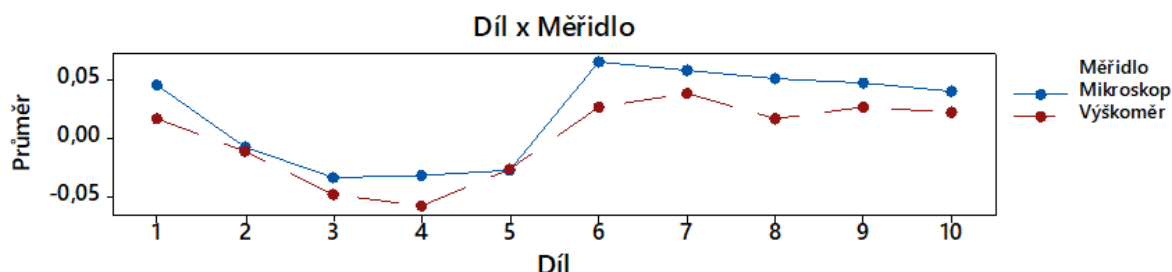
Jedním z vybraných rozměrů na kohoutu je vzdálenost osy otáčení a špičky zubu kohoutu, protože se jedná o důležitý rozměr pro vyrovnaní kohoutu a měření dalších rozměrů. Jelikož se v diagramu pro průměr (obr. 33) nachází většina bodů mimo kontrolní limity, vybrané kohouty nejlépe reprezentují výrobní proces, a proto by měly být směrodatné výsledky analýzy právě tohoto rozměru. Spíše, než variabilitou ve výrobním procesu je však tato variabilita způsobena kvalitou odlitků a různým tvarem zubu popsaným v kapitole 6.4.

U tohoto rozměru jako u jediného vzniká téměř dvojnásobně větší reprodukovatelnost než opakovatelnost, na kterou má vliv především významná interakce mezi dílem a měřidlem a dle výsledků v tabulce 6 i samotné měřidlo.



Obr. 33) Diagram pro průměr – kohout rozměr č.5

Interakce mezi dílem a měřidlem je vyjádřena na obrázku 34, kde lze také pozorovat, že ve většině případů byla mikroskopem naměřena vyšší průměrná hodnota dílu než výškoměrem, ovšem měřidla neměří díly konzistentně.



Obr. 34) Interakce dílu a měřidla – kohout rozměr č.5

Kohout rozměr č. 8

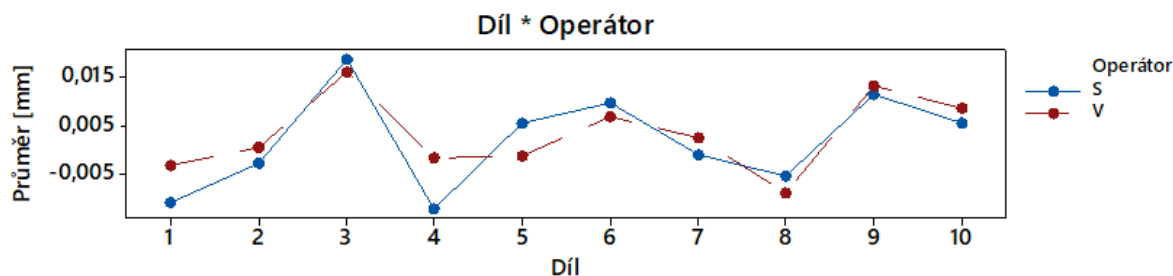
Jako další rozměr byla vybrána vzdálenost osy otáčení kohoutu k vrcholu rádiusu zubu kohoutu. Příspěvek variability dílů je druhý nejvyšší. Tento rozměr byl do analýzy vybrán především kvůli nejednoznačnému kótování. Z výkresu není zcela jasné, zda se jedná o kótu k vrcholu rádiusu zubu, nebo k plošce za rádiusem. Sběr těchto dat měl především ověřit, zda samotní operátoři měří díl konzistentně.

Z výsledků v tabulce 5 je patrné, že opakovatelnost je mnohem větší než reprodukovatelnost, což znamená, že vzniká značná variabilita, když stejný operátor měří opakovaně stejný díl. V tomto jediném případě nebyla objevena žádná významná interakce mezi vstupními faktory. Grafický výstup je na obrázku 32.

Kohout rozměr č. 9

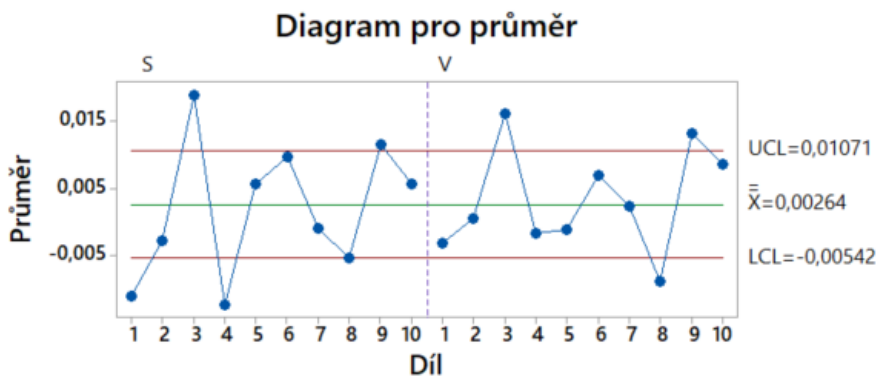
Pouhé výsledky měření tohoto rozměru ukazují, že se všech deset kohoutů nachází v tolerančních mezích, s minimální variabilitou. Z výrobního pohledu jsou tyto data úspěšné, ovšem pro tvorbu závěrů analýzy opakovatelnosti a reprodukovatelnosti naprosto nevhodné. I samotné číselné výsledky analýzy ukazují, že příspěvek variability jednotlivých dílů je 75,58 %, což je nižší než u ostatních rozměrů, přičemž právě dostatečná variabilita součástí je podmínkou pro tvorbu analýzy.

Tento rozměr jako jediný vykazuje interakci mezi dílem a operátorem. Graf interakce je na obrázku 35 a lze na něm pozorovat nekonzistenci mezi operátory.



Obr. 35) Interakce dílu a operátora – kohout rozměr č.9

Grafická analýza pouze potvrzuje numerické výsledky. V diagramu pro průměr (obr. 36) se nenachází minimálně polovina bodů mimo regulační meze, což potvrzuje nedostatečnou variabilitu dílů. I přes to, lze na základě naměřených dat vytvořit jeden závěr. I když bylo provedeno náhodné vzorkování z několika směn, nedochází k vysoké výrobní variabilitě rozteče vrtaných děr.

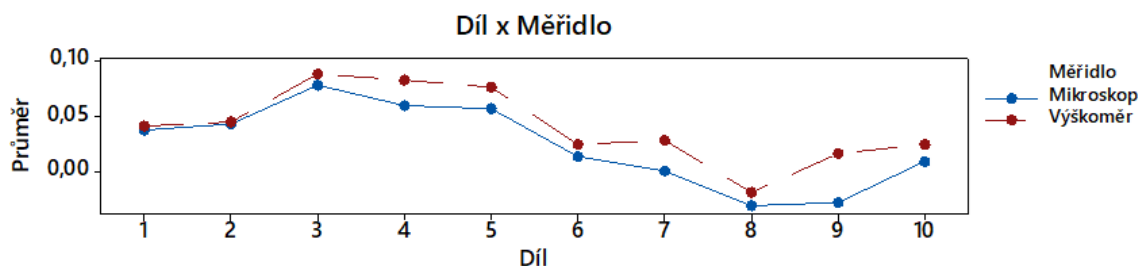


Obr. 36) Diagram pro průměr – kohout rozměr č.9

Spoušť rozměr č. 5

Jeden ze zvolených rozměrů na spoušti je rozměr číslo 5, kótovaný k ozubu spouště v ose x. Variabilita dílů pro analýzu je dostatečná. Dle numerických výpočtů je opakovatelnost větší než reprodukovatelnost, což znamená, že vzniká variabilita při opakovaném měření stejným operátorem. Zároveň se však v analýze vyskytuje i významná interakce mezi dílem a měřidlem zobrazena na obrázku 37.

Ve více jak polovině případů byly výškoměrem naměřeny vyšší průměrné hodnoty než mikroskopem. Naopak ve dvou případech byly naměřeny téměř totožné průměrné hodnoty. Měřidla tedy neměří díly konzistentně.

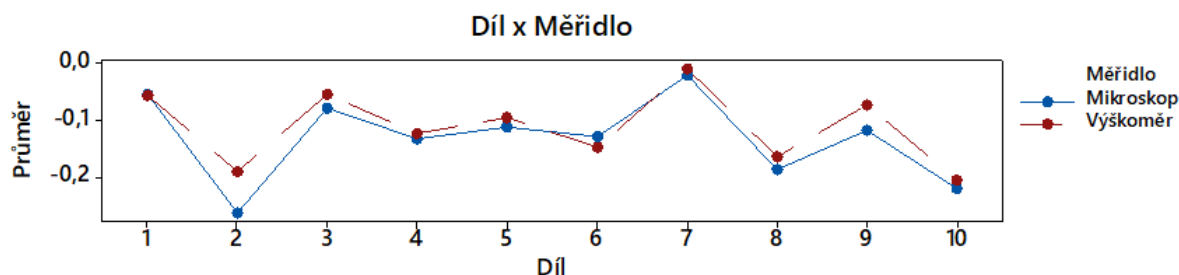


Obr. 37) Interakce dílu a měřidla – spoušť rozměr č.5

Spoušť rozměr č. 6

Druhý zvolený rozměr u spouště je vzdálenost osy díry pro čep a ozubu spouště v ose y. U tohoto rozměru je největší část variability způsobena právě variabilitou dílů, což je pozitivní pro analýzu. Výsledek počtu rozlišitelných kategorií je ze všech analyzovaných rozměrů největší. Ovšem 3 kategorie jsou pořád nedostatečné pro adekvátní systém měření.

V tomto případě byla zaznamenána největší interakce mezi dílem a měřidlem. Na obrázku 38 lze pozorovat, že téměř nikde nejsou spojnice průměrů rovnoběžné nebo totožné což znamená, že schopnost měřidla měřit díly konzistentně závisí na tom, který díl je zrovna měřen.



Obr. 38) Interakce dílu a měřidla – spoušť rozměr č.6

6.8.3 Shrnutí analýzy

Na výsledky analýzy má podstatný vliv způsob výběru analyzovaných součástí. Protože však nebylo možné předem analyticky vybrat díly reprezentující výrobní proces, bylo zvoleno náhodné vzorkování. Tato metoda však nezaručila, že náhodně vybrané díly skutečně reprezentují variabilitu celého výrobního procesu. Proto je kladen důraz na výsledky s nejvyšší variabilitou dílů, což je na kohoutu rozměr číslo 5 a na spoušti rozměr číslo 6. Nejrelevantnější výsledky ukazatele opakovatelnosti a reprodukovatelnosti %*GRR* jsou 44,94 % (kohout – rozměr č. 5) a 37,75 % (spoušť – rozměr č. 6). Oba tyto výsledky překračují hranici 30 %.

Ve výsledku jsou však všechny ukazatele %*GRR* větší než hranice 30 % a naznačují, že stávající systém měření vyžaduje zlepšení. Stejná indikace platí i u počtu rozlišitelných kategorií *ndc*, ten u žádného rozměru nepřekročil hodnotu 3, ovšem dle [3] je třeba, aby byl systém měření schopen díly rozlišit minimálně na 5 kategorií.

Významný závěr přinesly výsledky jednotlivých interakcí v tabulce 6. Ve třech případech poukazuje analýza na interakci mezi dílem a měřidlem, to znamená, že schopnost měřidla, měřit konzistentně, závisí na konkrétním díle, který právě měří. Po vytvoření samostatných grafů pro tuto interakci (příloha B) bylo zjištěno, že u spouští je často naměřena výškoměrem vyšší průměrná hodnota než mikroskopem. U kohoutů bylo zjištění opačné, tedy ve většině případů poskytl mikroskop vyšší výsledek měření než výškoměr. Ve výsledku však mezi jednotlivými měřidly vzniká nekonzistence.

Pozitivní je, že nebyla nalezena významná interakce mezi měřidly a operátory a pouze jedna interakce mezi díly a operátory. To znamená, že je méně pravděpodobné, že by schopnost operátorů provést měření konzistentně, významně závisela na tom, který díl měří nebo které měřidlo použijí. Tento závěr také potvrzují číselné hodnoty vlivu měřidla na celkovou reprodukovatelnost (tab. 6), které jsou vždy vyšší než vliv samotného operátora.

Cílem analýzy nebylo posoudit systém měření jako celek ale odhalit významné zdroje variability systému měření. Pro posouzení systému měření a jeho přijatelnosti je vhodné zkoumat funkčnost systému měření v delším časovém úseku. [3]

Závěr lze shrnout tak, že na základě všech výsledků (tab. 5) stávající systém měření není vyhovující a vyžaduje změnu, která by měla být z důvodu vysoké opakovatelnosti a významných interakcí mezi měřidlem a dílem zaměřena na stav a změnu samotných měřidel, tak i na metodiku upínání a vyrovnávání dílů. Takové výsledky a nekonzistence mohou být způsobeny právě volností operátorů při volbě postupu a měřidla při měření.

7 ZMĚNY POSTUPU MĚŘENÍ VYBRANÝCH SOUČÁSTÍ

Na základě výsledků analýzy GRR v kapitole 6.8 vyžaduje systém měření zlepšení. Vzhledem k velikosti a tvarové složitosti součásti je dotykové měření některých rozměrů obtížné, v určitých případech až nerealizovatelné, proto byly změny v postupech měření soustředěny především na bezdotykové měření.

7.1 Měření stávajících rozměrů kohoutu optickými metodami

Měření bylo realizováno na měřicím stroji DeMeet 220 ve spolupráci s firmou WHP s.r.o. a na stroji Keyence IM-7020 ve spolupráci s firmou Keyence. Technické parametry a vlastnosti stroje DeMeet 220 jsou velmi podobné se strojem DeMeet 400, který firma vyrábějící revolvery již vlastní, a proto by navržené změny měření a navržený program mohly být implementovány ve firmě poměrně rychle. Měření na stroji Keyence IM-7020 bylo realizováno na základě plánů firmy do tohoto zařízení investovat a bylo provedeno ve zkráceném rozsahu pouze v rámci předváděcí akce.

7.1.1 Měření na stroji Keyence IM-7020

Na stroji Keyence IM-7020 (obr. 39) proběhlo měření kohoutů, které byly předmětem analýzy opakovatelnosti a reprodukovatelnosti ve firmě. Úkolem tohoto měření bylo především ověřit možnosti realizace měření na tomto zařízení a vytvoření vhodného souřadného systému.

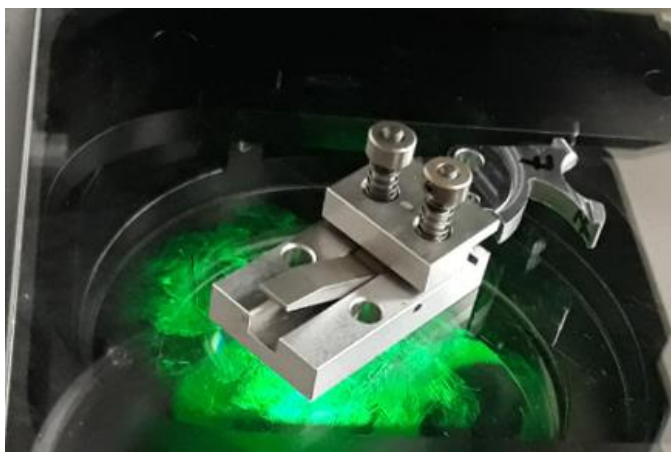
Keyence IM-7020 je digitální optický měřicí systém, který nevyžaduje vyrovnavání a polohování součásti a po vytvoření programu je schopen měřit několik součástí najednou. Hlavní výhodou je rychlost měření a jednoduchost ovládání. Zařízení je schopno filtrovat některé nečistoty a při měření nezáleží na poloze a orientaci měřených dílů. [24]



Obr. 39) Měřicí stroj Keyence IM-7020 [24]

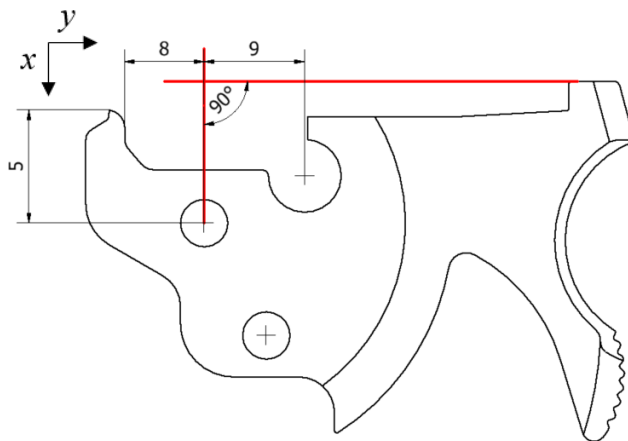
Zařízení se používá především pro rychlou kontrolu rozměrů a geometrických tolerancí, a je vybaveno dvěma 6.6 megapixelovými kamerami, mezi kterými je možno volit v závislosti na požadované přesnosti měření. Při volbě preciznějšího měření je snímaná plocha omezena na obdélník o stranách 107,5 x 95 mm. Při širším snímání dokáže kamera měřit na ploše o velikosti 145 x 95 mm. Stroj měří s rozlišitelností 1 μ m. [24]

Vzhledem k tomu, že kohouty nemají dostatečně velkou rovinnou plochu a plocha palečnicku, jako nejširší prvek součásti, jim brání ležet vodorovně bylo potřeba je vyrovnat. Konkrétně byl zvolen přípravek od firmy Fuji Tool (obr. 40) u nějž lze nastavit přídržnou sílu pomocí dvou pružin a je vyroben z nerezové oceli. Jeho rovinnost je obrobena na $\pm 0,01$ mm a kolmost na $\pm 0,015$ mm. Podmínkou měření bylo, že přípravek nesmí zasahovat do vyhodnocované oblasti na kohoutu. [25]



Obr. 40) Kohout v přípravku FujiTool na měřicí desce stroje Keyence IM-7020

Na začátku měření byl vytvořen program měření v softwaru IM-H2ECZ, který je součástí zařízení. Pro měření byla zvolena souřadná soustava skládající se z dorazové plochy kohoutu a díry pro čep kohoutu. Mezi těmito plochami je dle specifikace pravý úhel. Jakmile je souřadný systém vytvořen stroj podle něj měřený kohout vyrovná a měří předem vybrané a naprogramované rozměry. Jako výstup z měření byly zvoleny stejné rozměry, u kterých byla provedena předcházející analýza GRR. Souřadný systém i vyhodnocované rozměry jsou vyznačeny na obrázku 41. Po vytvoření programu je možné provádět automatické opakované měření všech kohoutů, které již trvá řádově desítky sekund.

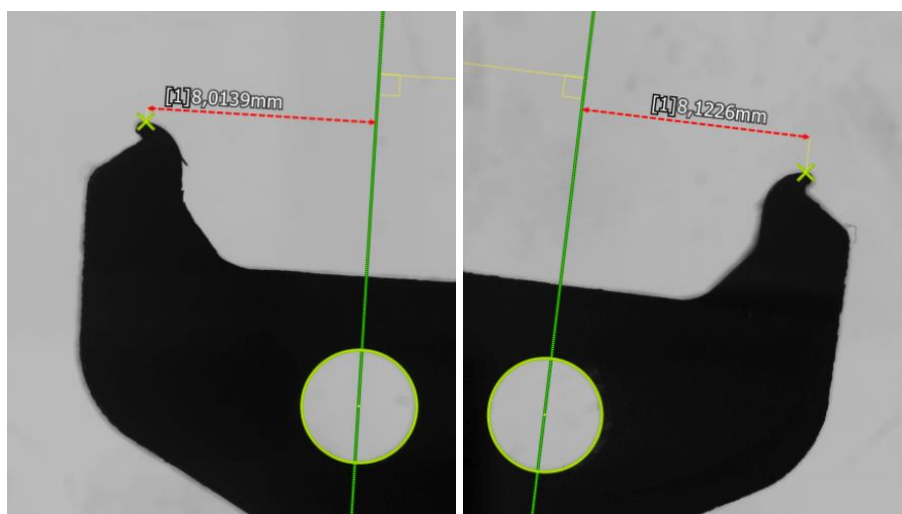


Obr. 41) Volba souřadného systému a měřených rozměrů

Jako jedna ze základů byla zvolena celá plocha dorazu, což se ukázalo jako neefektivní a při opakovaných měření nebylo dosaženo přijatelné opakovatelnosti měření. Proto byl program upraven a byla zvolena poměrně kratší plocha na dorazu kohoutu, jak je znázorněno na obrázku 41 červenou čarou.

Omezením pro optické měření je celkový stav povrchu kohoutu. Protože se nekontroluje finální verze kohoutu, jsou na kohoutu otřepy a nečistoty, které brání správnému zaostření hrany. Zařízení je schopno některé nečistoty filtrovat, ovšem i tak je třeba před měřením součást důkladně očistit. Na obrázku 42 lze pozorovat výrazné otřepy a nedokonalosti hran v oblasti zubu kohoutu při snímání součásti.

Při měření se objevil rozdíl v měření v závislosti na měřené straně kohoutu. Na obrázku 42 je výstup z měření stejného kohoutu z pravé a z levé strany. Při měření stejného rozměru je v měření rozdíl více jak 0,1 mm.



Obr. 42) Kohout č. 7 měření a) levá strana b) pravá strana

Aby byl vliv strany kohoutu vyloučen bylo veškeré měření prováděno pouze na levé straně kohoutu.

Hodnocení měření

Výstupem z měření je protokol ve formátu pdf, který obsahuje naměřené hodnoty společně s fotkou měřeného kohoutu. Tabulka s naměřenými daty je uvedena v příloze C.

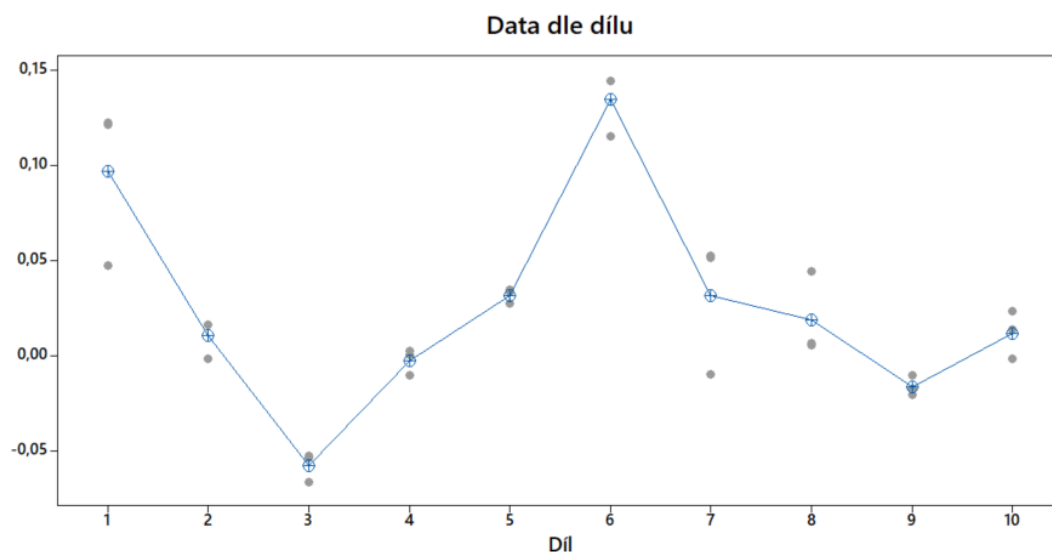
Počet opakovaných měření a operátorů je omezen, protože stroj byl pouze zapůjčen v rámci předváděcí akce. Ve výsledku bylo provedeno měření jedním operátorem na deseti dílech se třemi opakováními, vzhledem účasti jednoho operátora nelze za pomoci analýzy GRR určit reprodukovatelnost. Přesto byla GRR analýza provedena pro rozměr číslo 5 v softwaru Minitab s využitím Crossed analýzy.

Základní numerické výsledky jsou uvedeny v tabulce 7, ostatní numerické a grafické výsledky jsou uvedeny v příloze D.

Tab 7) Numerické výsledky GRR analýzy kohoutu na stroji Keyence IM-7020

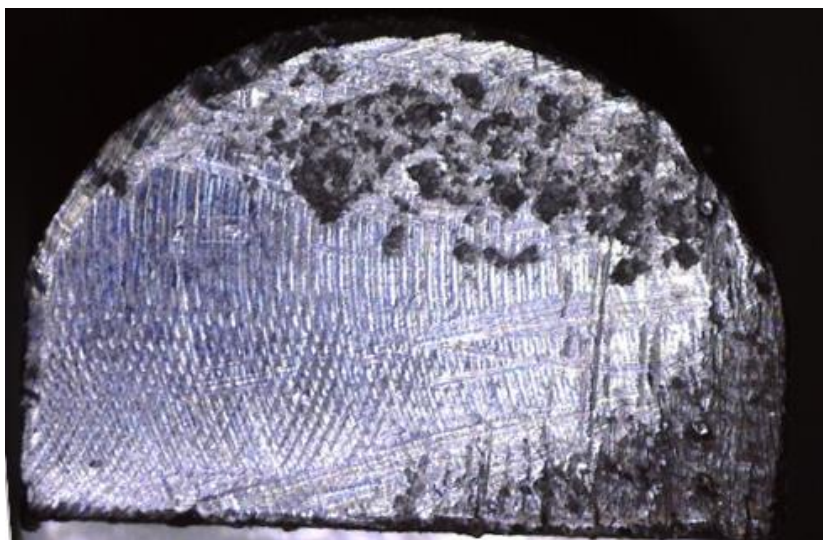
	%GRR	Opakovatelnost EV	Reprodukovatelnost AV	Variabilita dílů PV	ndc
	[%]	[%]	[%]	[%]	[-]
Kohout rozměr č. 5	36,16	36,16	0	93,23	3

V diagramu individuálních hodnot (obr. 43) lze pozorovat rozpětí naměřených hodnot, které se pohybuje řádově v setinách milimetru a maximální rozpětí je 0,075 mm.



Obr. 43) Graf individuálních hodnot pro kohout – rozměr č. 5

Ukazatel $\%GRR$ překračuje stanovenou hranici 30 % a výsledky analýzy ukazují poměrně vysoké rozpětí naměřených výsledků. Společně s velkými rozdíly při měření levé a pravé strany kohoutu se plocha dorazu neukazuje jako vhodná základna pro optické měření. Plocha dorazu, je jako základna poměrně malá, protože její značná část není rovinná a nedá se jako základna použít. Při následné kontrole některých povrchů byl objeven extrémní případ stavu povrchu dorazové plochy (obr. 44).



Obr. 44) Extrémní případ dorazové plochy

7.1.2 Měření na stroji DeMeet 220

Druhé měření bylo realizováno na přístroji DeMeet 220. Jedná se o 3D CNC měřicí stroj vybavený jak dotykovým, tak optickým snímáním, který je schopný při jednom měření kombinovat obě metody. [26]

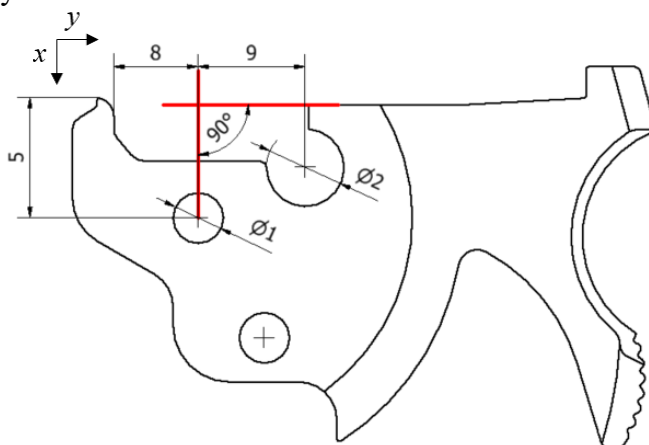
Model DeMeet 220 (obr. 45) je stolní model z řady DeMeet, který slouží pro měření menších dílů. Konkrétní model je vybaven objektivem značky Nikon a dotekovým systémem Renishaw TP20-5W. Zkreslení tvaru součástí na krajích zorného pole předchází telecentrické objektivy. Stroj má rozlišení 0,5 μm . [26]



Obr. 45) Souřadnicový měřicí stroj DeMeet 220 [26]

Nasnímané body jsou vyhodnocovány v softwaru Approve for DeMeet. Všechny výsledky ať už optického nebo dotekového měření mohou být v daném softwaru zobrazeny a následně exportovány do protokolu. [26]

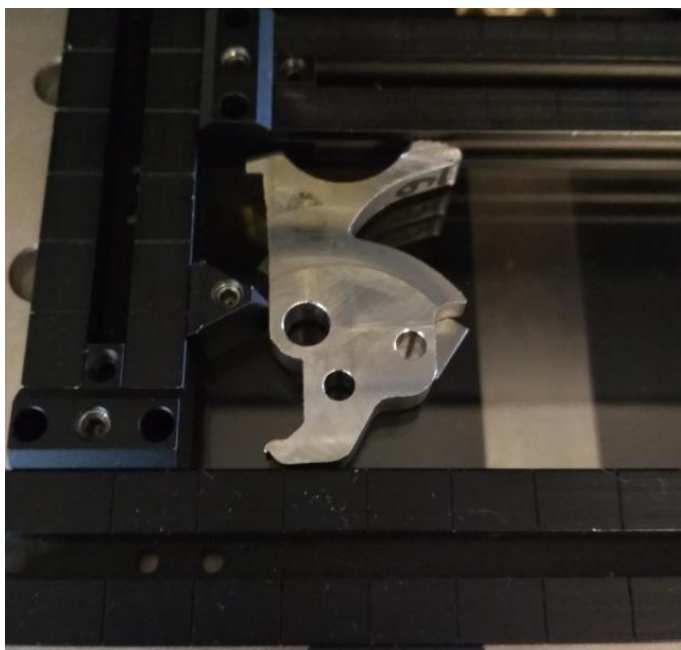
Samotnému měření předcházela tvorba měřicího programu společně s volbou souřadné soustavy. Vzhledem k nedokonalostem plochy dorazu a výsledkům předchozího měření na stroji Keyence IM-7020 byla tentokrát za základnu zvolena plocha u díry pro západku kohoutu a díra pro čep kohoutu. Vzniklá souřadná soustava je znázorněna na obrázku 46 společně s měřenými rozměry.



Obr. 46) Volba souřadného systému kohoutu

Kohout musel být podepřen koncovou měrkou, aby došlo k jeho vyrovnání na měřicím stole stroje (obr. 47). Orientace kohoutu při měření byla stanovena levou stranou nahoru.

Následně byl spuštěn program a zahájeno měření. Měření zvolených pěti rozměrů trvalo řádově desítky sekund. Naměřené hodnoty byly exportovány do PDF reportu.



Obr. 47) Umístění kohoutu při měření na stroji DeMeet 220

Souřadnicový měřicí stroj DeMeet 220 je mnohem citlivější na polohu kohoutu a při měření je třeba vždy umístit kohout na stejné místo. Zařízení rovněž není schopné změřit několik kohoutů najednou.

Hodnocení měření

Pro posouzení opakovatelnosti a reprodukovatelnosti bylo měřeno 10 kohoutů po 3 opakováních dvěma operátory (A, B). Naměřená data se nachází v příloze E.

Protože byly měřeny stejné kohouty jako v případě GRR analýzy v kapitole 6.8, byl na základě jejich výsledků za významný rozměr na kohoutu vybrán rozměr číslo 5. Naměřené hodnoty tohoto rozměru byly podrobeny analýze opakovatelnosti a reprodukovatelnosti v softwaru Minitab. Vzhledem k povaze vstupních dat byla využita Crossed analýza. Základní výsledky numerické analýzy jsou uvedeny v tabulce 8.

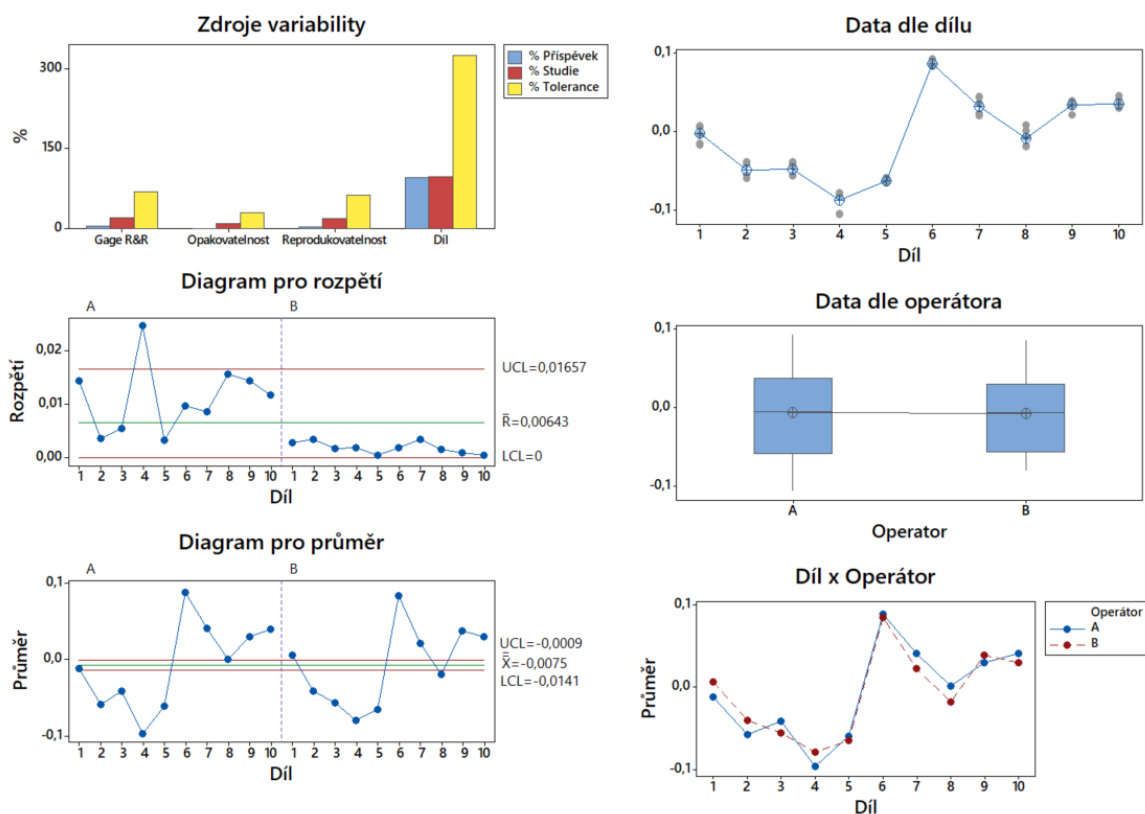
Tab 8) Numerické výsledky GRR analýzy kohoutu na stroji DeMeet 220

	%GRR	Opakovatelnost	Reprodukovatelnost	Variabilita	ndc
	[%]	EV	AV	dílů PV	
	[%]	[%]	[%]	[%]	[-]
Kohout rozměr č. 5	20,86	8,85	18,89	97,80	6

Celkový výsledek analýzy opakovatelnosti a reprodukovatelnosti se nachází v intervalu 10–30 %, což dle tabulky 3 znamená, že systém měření může být přijatelný pro některé aplikace. Z numerických výsledků lze také pozorovat nízkou opakovatelnost a pouze o 10 % větší reprodukovatelnost. To znamená, že většina variability při studii byla způsobena spíše samotnými operátory a pečlivostí při umisťování kohoutu na měřicí stůl stroje.

Počet rozlišitelných kategorií *ndc* je větší než 5, což znamená, že systém měření dokáže rozlišit jednotlivé díly.

Grafická analýza - DeMeet 220 Kohout - rozměr číslo 5



Obr. 48) Grafická analýza kohout – rozměr č. 5

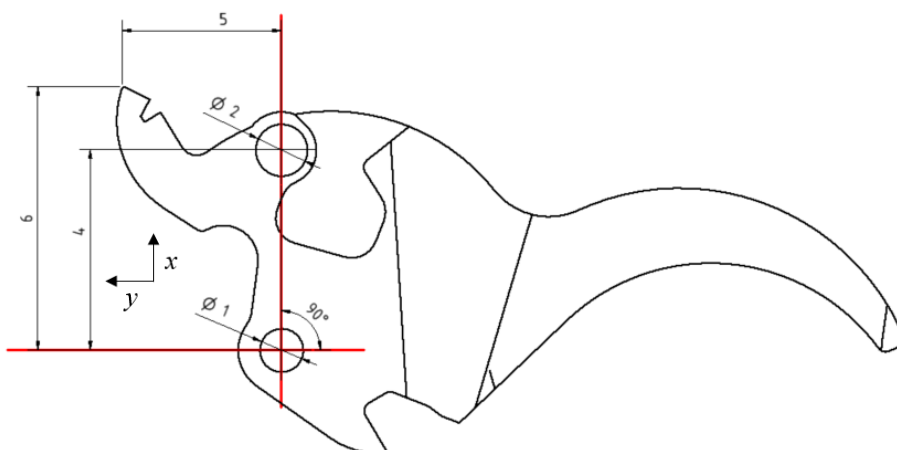
V grafické analýze na obrázku 48 lze v diagramu pro rozpětí pozorovat, že operátor B má významně menší rozpětí než operátor A. Tento rozdíl je s největší pravděpodobností způsoben právě důsledností při umisťování kohoutu na koncovou měрку. Rozpětí obou operátorů však nepřekračují 0,025 mm.

V diagramu dat dle jednotlivého dílu nelze pozorovat významné odlehle hodnoty a v diagramu dat dle operátora lze poznat, že operátoři mezi sebou měří konzistentně. V diagramu interakcí se vyskytuje interakce mezi dílem a operátorem, tato interakce je pravděpodobně způsobena zakládáním dílů k měření. Pokud by tento postup byl aplikován do reálného provozu, bylo by nutné operátory dostatečně upozornit na citlivost stroje při umisťování kohoutu.

7.2 Změna souřadného systému spouště

Na přístroji DeMeet 220 proběhlo rovněž měření finálních spouští. Při realizaci bezdotykového měření byl natočen souřadný systém a přepočteny vyhodnocované rozměry.

Jedny z mála použitelných prvků pro tvorbu souřadného systému na spoušti jsou její dvě díry. Na základě těchto děr byla vytvořena souřadná soustava, a to tak, že byla spoušť vyrovnána, aby oba středy děr ležely na jedné ose, přičemž ve středu jedné z děr byla vedena kolmice na spojnici středů děr. Jako počátek souřadné soustavy byl zvolen střed díry pro čep spouště, protože se jedná o funkční prvek mechanismu. Zvolená souřadná soustava společně s měřeními rozměrů je zobrazena na obrázku 49.

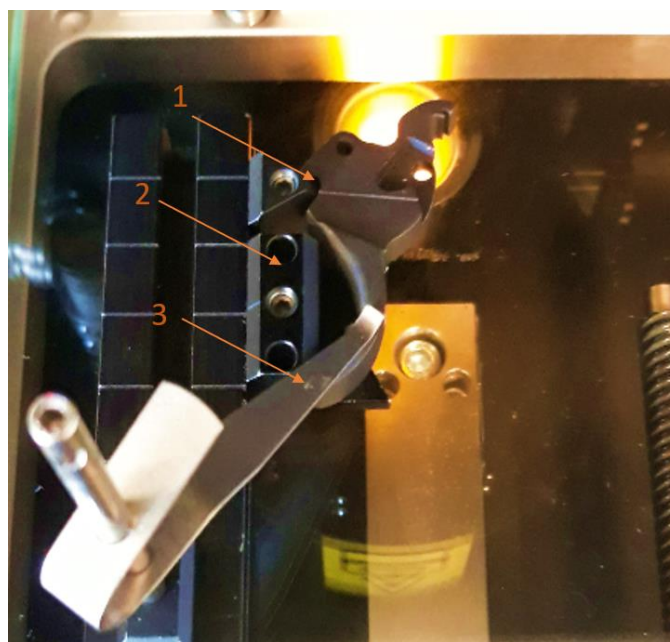


Obr. 49) Nová souřadná soustava spouště

Protože byla součást natočena o jistý úhel, muselo dojít i k přepočítání velikosti měřených rozměrů ve vztahu k novému souřadnému systému. Tato simulace byla provedena v 3D CAD softwaru za použití modelu spouště.

Pro vyrovnaní spouště byly využity boční plochy jazýčku, o které byla spoušť opřena v přípravku. Využito bylo taktéž tvaru drážky západky, ta však měla funkci pouze pro zajištění stejné polohy spouště při umísťování, protože stroj DeMeet 220 je citlivý na polohu a orientaci měřených součástí.

Přípravek byl vytvořen ze sady DF-System, jejíž díly mají černou povrchovou úpravu, aby bylo zabráněno nechťeným odleskům. Sada se skládá z různých tyčí, spojů a uchycení a může být namontována na jakýkoliv měřicí stroj. Upnutí spouště v přípravku na měřicím stole stroje je zobrazeno na obrázku 50. [27]



1 – Drážka západky 2 – Přípravek 3 – Upínka

Obr. 50) Upnutí spouště při měření na stroji DeMeet 220

Toto měření bylo provedeno na finálních spouštích těsně před montáží, především kvůli jejich čistotě a absenci otřepů. Stejný princip měření by samozřejmě mohl být využit i v průběhu výrobního procesu jako forma mezioperační kontroly. Jedinou podmínkou pro provedení měření je výskyt děr na spoušti a případné očištění spouště od nečistot a otřepů.

Měření bylo provedeno především kvůli ověření opakovatelnosti optického měření a jako ověření vhodnosti souřadné soustavy. Opět bylo měřeno pouze několik základních rozměrů, které jsou zakótovány na obrázku 49. Naměřená data jsou uvedena v příloze E.

Hodnocení měření

Bylo měřeno celkem 10 spouští po 3 opakování dvěma operátory (A, B). Následně byla provedena Crossed analýza GRR rozměrů číslo 5 a 6 v softwaru Minitab. Numerické výsledky v tabulce 9 naznačují, že systém měření je přijatelný pro některé aplikace, protože ukazatel *GRR* je menší než 30 %, ale větší než 10 %. V obou případech je opakovatelnost nižší než reprodukovatelnost a *ndc* je větší než limitní hodnota 5.

Tab 9) Numerické výsledky GRR analýzy spouště na stroji DeMeet 220

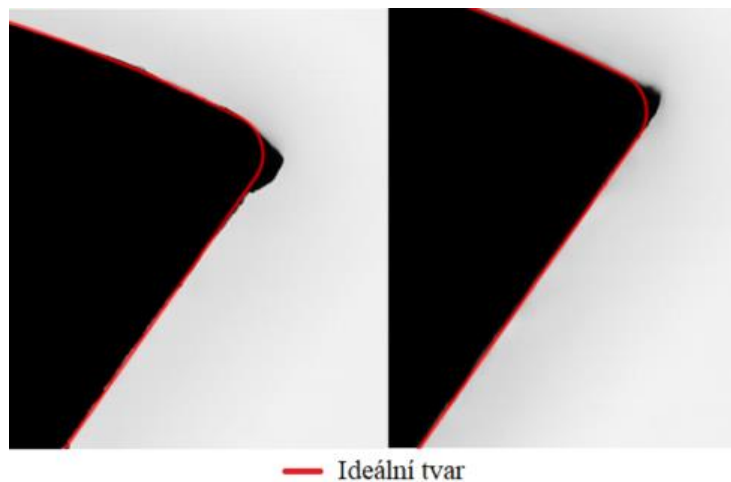
	% <i>GRR</i>	Opakovatelnost <i>EV</i>	Reprodukovatelnost <i>AV</i>	Variabilita dílů <i>PV</i>	<i>ndc</i>
	[%]	[%]	[%]	[%]	[-]
Spoušť rozměr č. 5	21,30	11,82	17,71	97,71	6
Spoušť rozměr č. 6	20,39	13,74	15,07	97,90	6

Podrobné numerické výsledky, uvedeny v příloze F, naznačují významnou interakci mezi operátorem a dílem. Vznik této interakce mohl být opět podmíněn způsobem a důsledností při upínání spouští do přípravku.

Z grafických analýz uvedených v příloze F lze pozorovat, že rozpětí jednotlivých operátorů nepřesahuje 0,02 mm a oba operátoři měří konzistentně.

V tomto případě nebyla do studie započítávána předepsaná tolerance, protože došlo k natočení souřadného systému, bez určení nových vhodných tolerancí.

Při optickém měření byl detailně pozorován i tvar spouští. Na obrázku 51 jsou příklady dvou ozubů měřených spouští. Přestože se jedná o finální kusy, které mají již broušený ozub, na některých kusech lze pozorovat významné odchylky od ideálního tvaru, který je na obrázku 51 reprezentován červenou čarou.



Obr. 51) Detaily ozubu finálních spouští

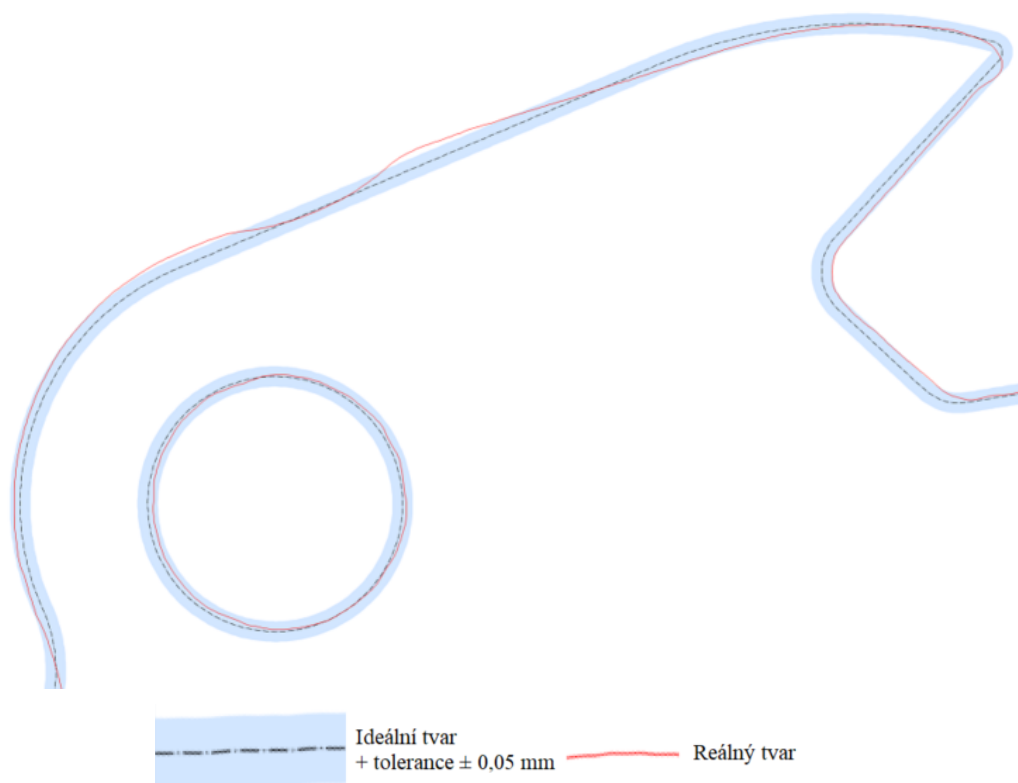
Na základě výsledků analýzy GRR se jeví volba souřadné soustavy jako vhodná a měření má potenciál být realizováno v praxi.

7.3 Hodnocení tvaru součástí

Další vlastností, kterou disponuje stroj Keyence IM-7020 je možnost importu souboru DXF, tedy modelu součásti, a následné porovnání měřeného kusu s jeho modelem. Tímto způsobem je možné hodnotit tvar vyrobených součástí.

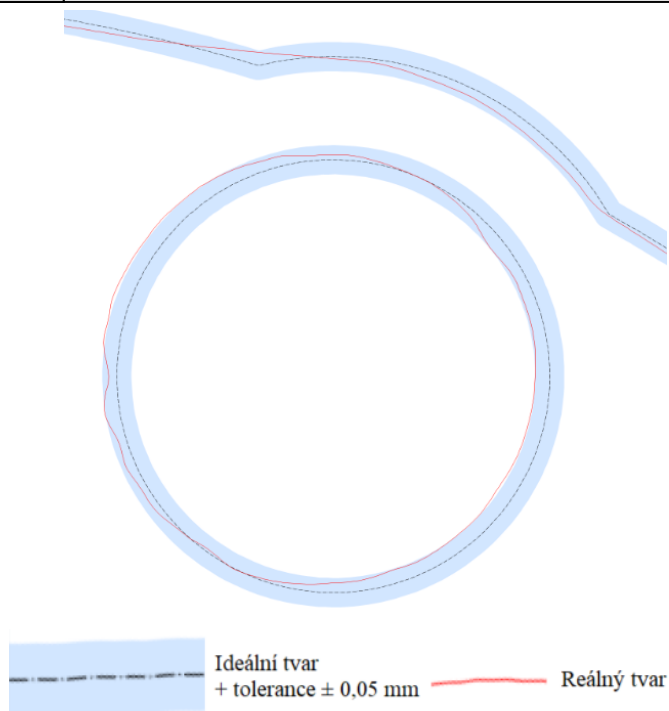
Při importu modelu součásti lze zároveň zvolit tolerance jednotlivých prvků na součásti. Výsledek je zobrazen na obrázku 52, kde červená čára znázorňuje skutečný tvar součásti, čárkovaná modrá je ideální tvar součásti načtený z modelu DXF. Modré pole je zvolená velikost tolerance. V tomto konkrétním případě byla zvolena tolerance $\pm 0,05$ mm na celý tvar součásti.

Výsledný obraz může být exportován do PDF reportu nebo dále hodnocen a upravován v editoru IM-H2C. V softwaru lze také vytvořit detaily jednotlivých posuzovaných prvků součásti. Na obrázku 52 lze pozorovat nerovnost povrchu, která se od ideálního tvaru odchyluje více než o 0,05 mm. S ideálním tvarem a polohou je porovnávána i díra pro čep spouště.



Obr. 52) Hodnocení tvaru spouště

Na obrázku 53 je zobrazen detail díry, ke které je připojen posunovač válce a převodní kulisa. Lze pozorovat mírný posun díry vůči její ideální poloze společně s odchylkami od kruhovitosti.



Obr. 53) Detail hodnocení tvaru díry spouště

Toto hodnocení bylo provedeno pouze ukázkově, jako možnost budoucího vývoje a posunu kontroly, kde by bylo možné rychle kontrolovat tvar součástí a polohu jejich prvků na základě jejich modelu.

Zavedení takové kontroly by rovněž vyžadovalo speciální průsvitné nebo průhledné přípravky pro vyrovnaní součástí, aby mohla být nasnímána celá kontura součástí. Při stávajícím snímání byla spoušť uchycena za jazýček v přípravku Fujitool a nemohl být nasnímán její celý tvar.

7.4 Změna odlitku

Během psaní této práce bylo ze strany firmy zmíněno, že plánují změnu výroby a chtějí se vrátit ke starému designu spouště, který používali před 3 lety. Změna je založena především na nedostatecích aktuálního designu.

Při zavádění nové výroby a tvorbě formy pro aktuální kohout a spoušť nedošlo k adekvátnímu výpočtu smrštění odlitku a nová forma na odlitky byla pouze zvětšena o 2 %. Tento krok způsobuje překážky při výrobě i při samotné montáži, protože již na začátku, samotný odlitek neodpovídá specifikovaným požadavkům.

Součásti jsou odlévány metodou vytavitelného modelu, tato metoda se označuje jako přesné lití a v některých případech se již nepředpokládá další opracování součástí. Pro dosažení správných výsledků je nutná znalost změn rozměrů v průběhu celého technologického procesu. Rozměrové změny odlitku je třeba posuzovat ve všech třech dimenzích odlišně. Stručně řečeno, jinak se změní délka, šířka a tloušťka odlévaného dílu. Související výpočty smrštění nejčastěji probíhají v tomu určených softwarech za předpokladu znalosti vstupních informací a procesu odlévání. [28]

Překážkou pro okamžitou změnu výroby je absence výkresu specifikace původní formy pro voskové odlitky.

7.5 Přípravek pro měření spouště

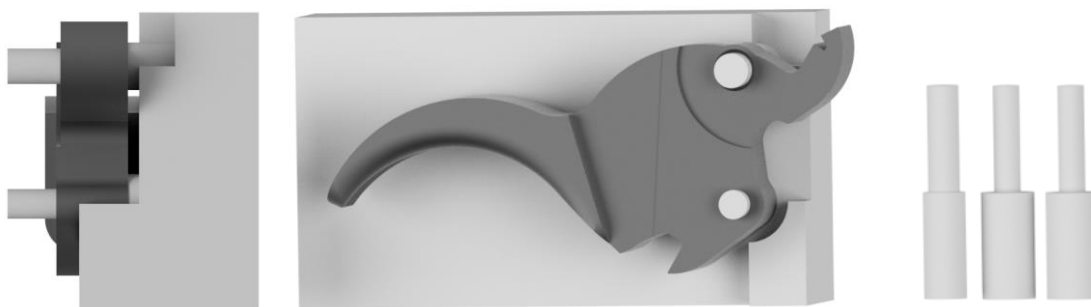
Stávající přípravek je popsán v kapitole 5 objasňující postup měření. O stavu přípravku následně pojednává kapitola 6. Vzhledem k současným časovým kapacitám souřadnicového stroje ve firmě, pravděpodobně nelze zahájit měření obou součástí na zmíněném přístroji. Než dojde k pořízení dalšího měřicího vybavení, bude třeba alespoň jednu součást stále měřit stávajícím vybavením firmy, což je výškoměr a dílenský mikroskop. Aby došlo ke zlepšení i tohoto procesu, navrhuji výrobu nového přípravku pro vyrovnání a měření spouště.

Vzhledem k požadavku na změnu výroby spouště popsaného v kapitole 7.4, zůstává návrh přípravku pouze ve fázi návrhu, aby mohl být případně upraven v závislosti na změně designu spouště.

Návrh nového přípravku vychází ze stejného souřadného systému, jaký byl vytvořen v případě měření spouští na stroji DeMeet 220. Středů děr jsou vyrovnány na jedné ose. Pro vyhodnocení takového měření je nutné opět natočit kótování rozměrů ve specifikaci v závislosti na novém souřadném systému.

Pro usnadnění dotykového měření rozměrů kótovaných od středů děr, je na přípravek vyvýšená a snížená plocha korespondující se středy děr.

Přípravek má dvě díry pro výsuvné trny. Výsuvných trnů je více, aby dostatečně reprezentovali rozsah tolerancí jednotlivých děr a aby při jejich použití mohla být ověřena správnost průměru děr. Odpovídající velikost trnů také zajistí pevné upnutí spouště v přípravku. Díry pro zasunutí trnů mají rozdílný průměr, aby nedošlo k záměně trnů.



Obr. 54) Návrh přípravku pro měření spouště a) boční pohled b) přední pohled

Tento přípravek je však vhodný pouze pro dotykové měření výškoměrem nebo manuální měření dílenským mikroskopem.

7.6 Shrnutí

Hlavním změnou v postupu měření kohoutu a spouště bylo zavedení optického automatizovaného měření. U kohoutů byly vyhodnocovány stávající rozměry s vhodně zvolenou souřadnou soustavou. Při návrhu souřadné soustavy se nejvhodněji jevila plocha u díry pro západku kohoutu a díra pro čep.

Spouště bylo nutné z důvodu jejich tvarové složitosti vhodně natočit. Souřadná soustava byla vytvořena na základě dvou děr a opticky byly vyhodnocovány rozměry, přepočítané v závislosti na natočení souřadného systému.

Posouzení naměřených dat bezdotykovými optickými metodami vykazovalo nižší míru opakovatelnosti než stávající systém měření. Ukazatele opakovatelnosti a reprodukovatelnosti jsou nižší než ukazatele stávajícího systému měření, proto lze zavedení optického měření doporučit. Protože však firma nedisponuje etalonovými kusy, nemohlo dojít k ověření skutečné strannosti navržených systémů měření.

Další navrženou změnou při měření spouště je její hodnocení na základě porovnávání s DXF modelem. Tento postup by mohl být zaveden po pořízení vhodného měřicího zařízení, jehož nákup firma zvažuje.

Dále byl navržen přípravek pro měření spouště výškoměrem nebo dílenským mikroskopem. Přípravek vyrovnává spoušť na základě stejné souřadné soustavy jako při návrhu optického měření. Vzhledem ke stávajícím nedokonalostem formy na voskové odlitky a s požadavkem na změnu designu a výroby spouště, nebyl navržený přípravek zatím realizován.

8 DOPORUČENÍ PRO PRAXI

V této kapitole je shrnuto několik vlastních závěrů a doporučení pro praxi, na základě analýzy stávajícího stavu i na základě aplikace nových návrhů měření.

Hlavním doporučením pro praxi je návrh optického měření součástí společně s návrhem vhodných souřadných systému, které je popsáno a realizováno v kapitole 7. Takové měření sníží vliv operátorů na variabilitu výsledků a značně urychlí průběh měření. Měření může být aplikováno formou mezioperační kontroly polotovarů součástí a rovněž může být zavedeno jako forma výstupní kontroly finálních součástí před montáží.

Dále navrhuji sjednotit postupy měření. V ideálním případě vytvořit instrukce pro měření jednotlivých dílů, ve kterých by byl jasně popsán postup měření a použitá měřidla. Zároveň by instrukce obsahovala i postup vyhodnocení výsledků měření, tedy míru přijatelnosti výsledků. Sjednocení postupů měření by snížilo variabilitu mezi operátory a zároveň by usnadnilo školení nových zaměstnanců. Vhodná volba měřicích prostředků a postupů závisí především na aktuální vytíženosti jednotlivých měřidel a přípravků.

Protože dochází k frekventovanému střídání konstruktérů a opakovaným úpravám výkresů v reakci na podněty výroby, probíhají časté úpravy specifikace součástí. Tyto úpravy jednotlivých dílů již nemusí zaručit, že díly vyrobené dle specifikace bezproblémově fungují v mechanismu, a že lze zajistit jejich zaměnitelnost. Bylo by vhodné provést důkladné měření dílů, vybraných z již složených plynule jdoucích revolverů, a porovnat jejich vlastnosti s předepsanou specifikací. S tímto návrhem také úzce souvisí návrh vytvoření etalonových kusů jednotlivých částí mechanismu. Etalonové části by pak mohly být používány pro ověření stavu měřidel a přípravků nebo jako součást výběrového vzorku pro analýzu opakovatelnosti a reprodukovatelnosti.

Vzhledem k současnému stavu by bylo vhodné zavést výstupní kontrolu všech součástí. Současný systém kontroly se zaměřuje na součásti v rámci kontroly stavu výrobního procesu. Kontrolují se spíše rozměry podstatné z hlediska výrobního procesu, avšak výstupní kontrola na OTK po poslední výrobní operaci již neprobíhá. Nastavení výstupní kontroly by pravděpodobně způsobilo nárůst neshodných součástí, ovšem ve výsledku by zajistilo požadovanou zaměnitelnost součástí a urychlilo montáž mechanismu.

Jako dočasné řešení před vytvořením uspokojivého systému kontroly a dosažením zaměnitelnosti součástí by mohly části mechanismu podléhat výstupní kontrole a při měření být rozděleny do několika skupin dle velikosti odchylek od předepsaného rozměru a tvaru funkčních ploch. Po takovém třídění by mohly být párovány součásti na základě jejich naměřených vlastností s vhodnou dvojicí protikusu, které by se v mechanismu jevily jako funkční, i když by nebyla zajištěna jejich 100% zaměnitelnost.

Během psaní této diplomové práce byla objevena skutečnost, že nová forma pro odlitek spouště nebyla vypracována správně, problém je popsán v kapitole 7.4. Konkrétně bylo nedostatečně vyhodnoceno smršťování odlitku, a proto již samotné polotovary odlitku neodpovídají požadavkům. Firma plánuje navrátit výrobu zpět k původním spouštím, po změně výroby by bylo vhodné zavést i vstupní kontrolu odlitků. Protože výroba odlitků probíhá v kooperaci s jinou firmou, vstupní kontrola by mohla odhalit změny ve výrobě dodavatele a ověřit požadovanou kvalitu odlitků.

9 ZÁVĚR

Diplomová práce se zabývá systémem měření ve firmě vyrábějící revolvery. Konkrétně je zaměřena na spoušť a kohout revolveru, u nichž popisuje a analyzuje současný stav systému měření a navrhuje změny postupu jejich kontroly.

První cíl práce byl popis současného stavu kontroly vybraných součástí revolveru. V kapitole 5 je popsán stávající postup kontroly spouště a kohoutu, která nyní probíhá pouze v rámci mezioperační kontroly, především jako posouzení stavu výrobního procesu. Kontrola není primárně zaměřena na výstupní kvalitu finálních součástí.

Druhý cíl práce byl stanoven jako systémový rozbor problému hodnocení procesu měření při výrobě ve firmě. V kapitole 3 jsou popsány vybrané teoretické základy metody MSA sloužící k hodnocení systémů měření. Analýza stávajícího systému měření je zpracována v kapitole 6. Zde je poukázáno na to, že systém měření dovoluje použít pro kontrolu součástí různá měřidla a pro jejich vyrovnaní a upnutí různé metody. Měření může probíhat výškoměrem nebo dílenským mikroskopem. Analýza měření rovněž vyvolává otázky, zda mají vybrané měřené rozměry dostatečnou vypovídací hodnotu o stavu výrobního procesu a funkčnosti měřených dílů. Pro odhalení opravdových zdrojů variability byla v rámci analýzy měření provedena analýza opakovatelnosti a reprodukovatelnosti stávajícího systému měření v softwaru Minitab. Dle pokynů vedoucího byla využita metoda ANOVA.

Postup a výsledky analýzy opakovatelnosti a reprodukovatelnosti popisuje kapitola 6.8. Metodou náhodného vzorkování bylo do studie vybráno 10 kohoutů a 10 spouští konkrétního typu revolveru. Vybrané díly byly měřeny dvěma operátory, na dvou měřidlech se třemi opakováními. Výsledky ukazatele $\%GRR$ se pohybují v intervalu od 37,75 do 65,48 % a všechny překračují stanovené hranice 10 i 30 % pro přijatelnost systému měření. Výsledky analýzy odhalily významné interakce mezi měřidlem a dílem. Zdrojem variability při měření jsou především měřidla a díly. Výsledek měření závisí na tom, který konkrétní díl je měřen a které měřidlo je použito. Závěr analýzy je takový, že stávající systém měření vyžaduje zlepšení, které by mělo být primárně zaměřeno na samotná měřidla, upínání a vyrovnavání dílů. Z výsledku analýzy je také patrné, že použití různých měřidel a různých postupů má významný vliv na výsledky měření.

Dalším z cílů byl návrh součástí revolveru a zdůvodnění změn postupu v jejich měření. Výběr podstatných součástí mechanismu z hlediska jeho funkce, společně s rozбором konkrétního mechanismu revolveru byl proveden v kapitole 4. Na základě rozboru funkce mechanismu a požadavku ze strany firmy byly vybrány pro změnu postupu kontroly kohout a spoušť. Hlavním důvodem změn postupu měření právě těchto součástí je jejich důležitý funkční kontakt v mechanismu revolveru a jejich tvarová složitost při měření. Dalším důvodem volby těchto součástí je problém jejich zaměnitelnosti v mechanismu revolveru.

Následujícím cílem byla aplikace navržených postupů měření na zvolených součástech a technické posouzení naměřených výsledků. Aplikaci navržených postupů společně s hodnocením měření popisuje kapitola 7. Hlavním návrhem je zavedení automatizovaného optického měření obou součástí. Optické měření bylo zvoleno na základě stávajícího vybavení firmy a z důvodu tvarové složitosti vybraných součástí. S optickým měřením souvisí i vytvoření vhodné souřadné soustavy na zvolených součástech. Bezdotykové optické měření bylo provedeno na stroji Keyence IM-7020 v rámci předváděcí akce, o jehož koupi firma

uvažuje. Toto měření potvrdilo, že součásti jsou po očištění vhodné pro optické měření. Dále bylo předvedeno, že je zařízení schopno vyhodnocovat i tvar součásti na základě jejího modelu, jak je psáno v kapitole 7.3.

Nejpřínosnější měření proběhlo na měřicím stroji DeMeet 220 ve spolupráci s firmou WHP. Pro měření kohoutů na tomto zařízení byla navržena vhodná souřadná soustava skládající se z osy díry pro čep a plochy u díry pro západku kohoutu. Na základě navrženého systému měření byla provedena série opakovaných měření s cílem provést analýzu GRR. Toto optické měření trvá řádově jen desítky sekund a po upnutí dílů již nevyžaduje asistenci operátora.

Na stroji DeMeet 220 byly měřeny i finální spouště. Vzhledem k jejich tvarové složitosti je obtížné je správně vyrovnat a uchytit pro měření. Nejvhodnějším řešením bylo upnutí spouští za jazýček do přípravku. Tvarová složitost se projevila i při volbě souřadné soustavy, nakonec byla zvolena soustava na základě dvou děr spouště. Analýzou opakovatelnosti a reprodukovatelnosti naměřených dat byla ověřena použitelnost navrženého systému měření.

Cíl – technické posouzení naměřených výsledků je zpracován v kapitole 7. Výsledky analýzy opakovatelnosti a reprodukovatelnosti na stroji DeMeet 220 jsou 20,86 % pro kohout a 21,30 a 20,39 % pro spoušť, tedy v intervalu 10 až 30 %. Ukazatele %GRR charakterizují takové systémy měření jako přijatelné pro některé aplikace. Výsledky jsou až o 26 % lepší než výsledky stávajícího systému měření, dále vykazují dobrou opakovatelnost při měření a malé rozpětí operátorů. Oba postupy navíc probíhají rychleji než aktuální manuální měření a po umístění na měřicí stůl a zahájení programu již nevyžadují asistenci operátora. Tyto navržené postupy jsou použitelné pro stávající praxi a mohou být zavedeny jako mezioperační kontrola nebo jako forma chybějící výstupní kontroly.

Vlastní závěry a doporučení pro praxi jsou popsány v kapitole 8. Mimo doporučení optického měření je dalším z hlavních doporučení sjednocení postupů měření. Protože má v současnosti každý operátor vlastní postup, metodu vyrovnání i měřidlo, vzniká nekonzistence při měření, která byla potvrzena analýzou GRR. Vytvořením instrukcí pro postup a vyhodnocení měření by mohla být tato nekonzistence odstraněna společně se zjednodušením školení nových zaměstnanců. Návrh nového přípravku pro měření spouště je popsán v kapitole 7.5.

Ostatní doporučení uvedená v osmé kapitole souvisí s poznatky zjištěnými při testování nových optických postupů měření. Týkají se především návrhu vstupní kontroly polotovarů a výstupní kontroly finálních součástí. Dále je možné doporučit kompletní ověření funkčnosti rozměrů předepsaných ve specifikaci. Například rozebráním a proměřením několika plně funkčních revolverů. Také by mohly být vyrobeny důležité referenční díly revolveru.

Problematika kontroly tvarově složitých součástí je velmi široká a lze k ní přistupovat různými způsoby v závislosti na konkrétním měřicím vybavení firmy. V budoucnosti by mohla být pozornost věnována právě rozvoji optického měření, protože požadavek na kvalitní měření a ověření shody součástí s jejich specifikací je stěžejní bod při jakékoliv změně či modifikaci výrobního procesu nebo úpravách v konstrukci mechanismu revolveru.

10 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] CURTIS, Mark a Francis FARAGO. *Handbook of dimensional measurement*. Fifth edition. South Norwalk: Industrial Press, 2014. ISBN 978-0-8311-3465-5.
- [2] COLOSIMO, Bianca. *Geometric tolerances: impact on product design, quality inspection and statistical process monitoring*. London: Springer, 2011. ISBN 978-1-84996-310-7.
- [3] *Measurement systems analysis (MSA): Reference Manual*. Fourth Edition. Chrysler Group LLC, Ford Motor Company, General Motors Corporation, 2003. ISBN 80-02-01562-2.
- [4] *Vhodnost kontrolních procesů: vhodnost měřicích systémů, vhodnost procesů měření a kontroly, rozšířená nejistota, posuzování shody*. 2011. Praha: Česká společnost pro jakost, 2011. Management jakosti v automobilovém průmyslu. ISBN 978-80-02-02307-4.
- [5] KLAPUT, Pavel. *Metodické přístupy k analýzám systémů měření*. Ostrava, 2014.. Disertační práce. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava.
- [6] BURDICK, Richard, Douglas MONGOMERY a Connie BORROR. *Design and Analysis of Gauge R and R Studies: Making Decisions with Confidence Intervals in Random and Mixed ANOVA Models (ASA-SIAM Series on Statistics and Applied Probability)*. SIAM, Philadelphia: ASA, Alexandria, VA, 2005. ISBN 0-89871-588-1.
- [7] WALKER, Fred, Donald BENBOW a Ahmad ELSHENNAWY. *The Certified Quality Technician Handbook*. Third Edition. ASQ Quality Press, 2018. ISBN 978-0-87389-976-5.
- [8] PLURA, Jiří. *Plánování a neustálé zlepšování jakosti*. Vyd. 1. Praha: Computer Press, 2001. Business books (Computer Press). ISBN isbn80-722-6543-1.
- [9] *Statistická regulace procesů (SPC): příručka*. 2. vyd. Přeložil Jiří MICHÁLEK. Praha: Česká společnost pro jakost, 2006. ISBN 80-02-01810-9.
- [10] ANOVA Gage R&R - Part 1. *SPC for Excel Software, Training and Consulting* [online]. Copyright © BPI Consulting, LLC. All Rights Reserved., 2020 [cit. 2020-04-19]. Dostupné z: <https://www.spcforexcel.com/knowledge/measurement-systems-analysis/anova-gage-rr-part-1>
- [11] RASCH, Dieter, Rob VERDOOREN a Jürgen PILZ. *Applied Statistics: Theory and Problem Solutions with R*. Oxford: © 2020 John Wiley & Sons Ltd, 2020. ISBN 978-1-119-55152-2.
- [12] OAKLAND, John. *Statistical process control*. 5th ed. Boston: Butterworth-Heinemann, 2003. ISBN 0750657669.
- [13] *Company / Minitab* [online]. Copyright © 2020 Minitab, LLC. All Rights Reserved. [cit. 2020-03-28]. Dostupné z: <http://www.minitab.com/en-us/company/>

- [14] RUNJE, Biserka, Amalija Horvatić NOVAK a Andrej RAZUMIĆ. *Measurement system analysis in production process*. XVII International Scientific Conference on Industrial Systems: University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, 2017.
- [15] *Types of factors in a gage R&R study - Minitab*. [online]. Copyright © 2020 Minitab, LLC. All rights Reserved. [cit. 2020-04-24]. Dostupné z: <https://support.minitab.com/en-us/minitab/19/help-and-how-to/quality-and-process-improvement/measurement-system-analysis/supporting-topics/gage-r-r-analyses/types-of-factors/>
- [16] JANKOVÝCH, Róbert. *Hlavní zbraně a střelivo*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2012. ISBN 978-80-260-2384-5.
- [17] MOURET, Jean-Noel. *Revolvery a pistole: Svět krátkých palných zbraní*. Praha: Rebo, 1994. ISBN 80-85815-33-8.
- [18] ŽUK, Aleksandr. *Revolvery a pistole*. 2. dopl. vyd. Praha: Naše vojsko, 1993. ISBN 80-206-0364-6.
- [19] Alfa steel 3840. In: *STŘELCI.COM – Příznivci zbraní a střelby* [online]. 2009 [cit. 2020-02-15]. Dostupné z: <https://www.strelci.com/?p=462>
- [20] TICHÁ, Šárka. *Strojírenská metrologie*. 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2004. ISBN 80-248-0671-1.
- [21] DeMeet-400 3D souřadnicový měřicí přístroj. *WHP Technik: Měřicí technika, identifikační systémy a automatizační prvky* [online]. [cit. 2020-03-06]. Dostupné z: <https://www.whp.cz/demeet-400-3d-cnc-souradnicovy-merici-pristroj.html>
- [22] Dino-Lite AM4115ZTL - Dino-Lite. *Dino-Lite - Digitální mikroskopy Dino-Lite* [online]. © Copyright Dino [cit. 2020-06-17]. Dostupné z: <https://www.dino-lite.cz/cz/am4115ztl>
- [23] *Interpret the key results for Expanded Gage R&R Study* [online]. Copyright © 2020 Minitab, LLC. All rights Reserved [cit. 2020-04-17]. Dostupné z: <https://support.minitab.com/en-us/minitab/19/help-and-how-to/quality-and-process-improvement/measurement-system-analysis/how-to/gage-study/expanded-gage-r-r-study/interpret-the-results/key-results/>
- [24] *The Next Generation Optical Comparator - Instant Measurement | Image Dimension Measurement System IM-7500 | KEYENCE Malaysia. Sensors and Machine Vision Systems for Factory Automation* [online]. Malaysia: KEYENCE, 2019 [cit. 2020-03-15]. Dostupné z: https://www.keyence.com.my/ss/products/measure-sys/im-7000/?ad_local=sitetopslbn3#Tab01
- [25] *Fuji Tool Miniature Measuring Clamp MC-300S - 83-012-150 - Penn Tool Co., Inc. Industrial Machine Tools for Sale | Penn Tool Co* [online]. [cit. 2020-04-15]. Dostupné z: <https://www.penntoolco.com/fuji-tool-miniature-measuring-clamp-mc-300s-83-012-150/>
- [26] DeMeet-220 3D souřadnicový měřicí přístroj. *WHP Technik: Měřicí technika, identifikační systémy a automatizační prvky* [online]. [cit. 2020-04-19]. Dostupné z: <https://www.whp.cz/demeet-220-3d-cnc-souradnicovy-merici-pristroj.html>

- [27] Schut Geometrical Metrology - DF System. *Schunt* [online]. [cit. 2020-05-17]. Dostupné z: http://www.schut.com/Products/Fixtures/index_DFsystem.htm
- [28] *Casting Design and Performance*. Materials Park, Ohio: ASM International, 2009. ISBN 978-0-87170-724-6.
- [29] ÚLEHLOVÁ, Eva. *Analýza postupu posouzení shody kohoutu se specifikací*. Brno, 2018. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/108072>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky. Vedoucí práce Matej Harčarik.

11 SEZNAM TABULEK, OBRÁZKŮ, ZKRATEK A SYMBOLŮ

11.1 Seznam tabulek

Tab 1)	Tabulka analýzy rozptylu dvoufaktorová ANOVA [3]	28
Tab 2)	Odhad složek rozptylu a výpočet ukazatelů GRR [3].....	28
Tab 3)	Hodnocení opakovatelnosti a reprodukovatelnosti systému měření [3]	31
Tab 4)	Kontrolní protokol kohoutu	44
Tab 5)	Numerické výsledky GRR analýzy ve firmě	53
Tab 6)	Tabulka vlivu faktorů a jejich interakcí na reprodukovatelnost	54
Tab 7)	Numerické výsledky GRR analýzy kohoutu na stroji Keyence IM-7020	63
Tab 8)	Numerické výsledky GRR analýzy kohoutu na stroji DeMeet 220.....	66
Tab 9)	Numerické výsledky GRR analýzy spouště na stroji DeMeet 220.....	69

11.2 Seznam obrázků

Obr. 1)	Strannost měření [3]	20
Obr. 2)	Stabilita [3]	21
Obr. 3)	Linearita [3]	21
Obr. 4)	Shodnost [8].....	22
Obr. 5)	Opakovatelnost [3]	22
Obr. 6)	Reprodukovatelnost [3]	23
Obr. 7)	Sběr dat pro a) Crossed analýzu b) Nested analýzu [15].....	32
Obr. 8)	Možnost sběru dat pro Expanded analýzu [15]	32
Obr. 9)	Popis mechanismu revolveru (upraveno [19]).....	34
Obr. 10)	Popis prvků a) kohoutu a b) spouště.....	35
Obr. 11)	Kontakt spouště a západky kohoutu při dvojčinném režimu.....	35
Obr. 12)	Dotek kohoutu a spouště při SA natahování kohoutu	36
Obr. 13)	Zaklesnutý zub kohoutu v záchyty zubu na spoušti	36
Obr. 14)	Uvolnění kohoutu při SA výstřelu.....	36
Obr. 15)	Vzdálenost kolíků spouště a kohoutu v rámu revolveru	37
Obr. 16)	Kontrolované prvky kohoutu.....	41
Obr. 17)	Upevnění kohoutu v prizma pro měření výškoměrem	41
Obr. 18)	Vyrovňovací rozměr kohoutu	42
Obr. 19)	Podepřený kohout na stole mikroskopu.....	43
Obr. 20)	Kontrolované prvky spouště.....	44
Obr. 21)	Upnutí spouště do přípravku	45
Obr. 22)	Umístění spouště na stole mikroskopu	46
Obr. 23)	Povrch plochy a) dorazu b) úderné plochy kohoutu.....	48
Obr. 24)	Nerovnosti na zubu kohoutu a) horní pohled b) boční pohled	48
Obr. 25)	Různé tvary zubů polotovaru kohoutu	49
Obr. 26)	Spoušťové ozuby se záchytem zubu kohoutu.....	49
Obr. 27)	Změny tvaru zubu kohoutu.....	50
Obr. 28)	Nadbytek materiálu na částech mechanismu.....	51
Obr. 29)	Úbytek materiálu na spoušti	51
Obr. 30)	Vybrané rozměry pro GRR analýzu	52
Obr. 31)	Dialogové okno v programu Minitab	53
Obr. 32)	Grafický výstup z Minitabu – kohout rozměr č.8.....	55
Obr. 33)	Diagram pro průměr – kohout rozměr č.5	56
Obr. 34)	Interakce dílu a měřidla – kohout rozměr č.5	56

Obr. 35)	Interakce dílu a operátora – kohout rozměr č.9	57
Obr. 36)	Diagram pro průměr – kohout rozměr č.9	57
Obr. 37)	Interakce dílu a měřidla – spoušť rozměr č.5	57
Obr. 38)	Interakce dílu a měřidla – spoušť rozměr č.6	58
Obr. 39)	Měřicí stroj Keyence IM-7020 [24]	61
Obr. 40)	Kohout v přípravku FujiTool na měřicí desce stroje Keyence IM-7020	62
Obr. 41)	Volba souřadného systému a měřených rozměrů	62
Obr. 42)	Kohout č. 7 měření a) levá strana b) pravá strana.....	63
Obr. 43)	Graf individuálních hodnot pro kohout – rozměr č. 5	64
Obr. 44)	Extrémní případ dorazové plochy	64
Obr. 45)	Souřadnicový měřicí stroj DeMeet 220 [26]	65
Obr. 46)	Volba souřadného systému kohoutu	65
Obr. 47)	Umístění kohoutu při měření na stroji DeMeet 220	66
Obr. 48)	Grafická analýza kohout – rozměr č. 5	67
Obr. 49)	Nová souřadná soustava spouště.....	68
Obr. 50)	Upnutí spouště při měření na stroji DeMeet 220	68
Obr. 51)	Detaily ozubu finálních spouští	69
Obr. 52)	Hodnocení tvaru spouště.....	70
Obr. 53)	Detail hodnocení tvaru díry spouště	71
Obr. 54)	Návrh přípravku pro měření spouště a) boční pohled b) přední pohled	72

11.3 Seznam použitých zkratek a symbolů

VDA	Verband der Automobilindustrie / německá asociace automobilního průmyslu
MSA	Measurement system analysis / Analýza systému měření
GRR	Opakovatelnost a reprodukovatelnost měřidla
ANOVA	Analysis of variance / analýza rozptylu
$\sigma_{způsobilost}^2$	Odhad rozptylu způsobilosti
$\sigma_{strannost(linearita)}^2$	Odhad rozptylu strannosti (linearity)
σ_{GRR}^2	Odhad rozptylu opakovatelnosti a reprodukovatelnosti
$\sigma_{výkonnost}^2$	Odhad rozptylu výkonnosti
$\sigma_{stabilita}^2$	Odhad rozptylu stability
$\sigma_{konzistence}^2$	Odhad rozptylu konzistence
k	k-tý operátor
j	j-tá replikace
i	i-tý díl
l	Počet operátorů ve studii
n	Počet dílů ve studii
m	Počet opakování
R_i	Rozpětí dílu i
\bar{R}	Průměrné rozpětí
x_{iA}	Hodnota vzorku i naměřena operátorem A
x_{iB}	Hodnota vzorku i naměřena operátorem B
d_2^*	Koeficient tabelovaný v [3]
σ	Směrodatná odchylka daného výrobního procesu
R_{ik}	Rozpětí operátora k na dílu i
x_{ijk}	Hodnota vzorku i měřena operátorem k při replikaci j
$\bar{\bar{R}}$	Celkové průměrné rozpětí
\bar{R}_k	Průměrné rozpětí operátora k
$UCL_{\bar{R}}$	Horní kontrolní limit diagramu pro rozpětí
$LCL_{\bar{R}}$	Dolní kontrolní limit diagramu pro rozpětí
D_3, D_4	Koeficienty pro výpočet regulačních mezí tabelované v [9]
\bar{x}_k	Aritmetický průměr operátora k
\bar{x}_i	Aritmetický průměr dílu i
\bar{x}_{ik}	Aritmetický průměr operátora k na dílu i
\bar{x}_{jk}	Aritmetický průměr operátora k při replikaci j
$\bar{\bar{x}}$	Celkový aritmetický průměr
UCL	Horní regulační mez
LCL	Dolní regulační mez
CL	Centrální přímka
A_2, K_1, K_2, K_3	Koeficienty tabelované v [3]
\bar{X}_{DIFF}	Rozdíl mezi maximálním a minimálním průměrem operátora

<i>EV</i>	Opakovatelnost/variabilita zařízení
<i>AV</i>	Reprodukovatelnost/variabilita operátora
<i>PV</i>	Variabilita dílu
<i>TV</i>	Celková variabilita
<i>ndc</i>	Počet rozlišitelných kategorií
<i>DF</i>	Stupně volnosti
<i>SS</i>	Součet čtverců
<i>MS</i>	Kvadratický průměr
<i>INT</i>	Interakce mezi vstupními faktory
<i>SS_A</i>	Součet čtverců pro operátory
<i>SS_P</i>	Součet čtverců pro díly
<i>SS_{AP}</i>	Součet čtverců interakce operátor x díl
<i>SS_E</i>	Součet čtverců zařízení
<i>TSS</i>	Celkový součet čtverců
<i>MS_A</i>	Kvadratický průměr operátorů
<i>MS_P</i>	Kvadratický průměr dílů
<i>MS_{AP}</i>	Kvadratický průměr interakce operátor x díl
<i>MS_E</i>	Kvadratický průměr zařízení
τ^2	Odhad rozptylu zařízení EV
γ^2	Odhad rozptylu interakce INT
ω^2	Odhad rozptylu operátora AV
σ^2	Odhad rozptylu dílu PV
Y_{ijk}	Měřená hodnota
μ	průměrná teoretická hodnota měřené veličiny
α_i	Vliv prvního faktoru
β_k	Vliv druhého faktoru
$(\alpha\beta)_{ik}$	Interakce mezi faktory
ε_{ijk}	Náhodná chyba
SA	Jednočinný režim
DA	Dvojčinný režim
DAO	Pouze dvojčinný režim
δ	Velikost dotyku zubu spouště a záchyty pro zub kohoutu na spoušti
PDF	Portable Document Format (Přenosný formát dokumentů)
DXF	Drawing Exchange Format

12 SEZNAM PŘÍLOH

Příloha A Naměřená data ve firmě

Příloha B Výsledky analýzy GRR ve firmě

Příloha C Naměřená data – Keyence

Příloha D Výsledky analýzy GRR – Keyence

Příloha E Naměřená data – DeMeet 220

Příloha F Výsledky analýzy GRR – Demeet 220

Příloha G Vybavení oddělení technické kontroly

PŘÍLOHY

A NAMĚŘENÁ DATA VE FIRMĚ

Tab A1) Naměřená data – Kohout rozměr číslo 9

Č. dílu/ Operátor	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Výškoměr										
S	-0,02	-0,01	0,02	-0,01	0,00	0,01	0,00	-0,01	0,00	0,00
	-0,01	0,00	0,02	-0,02	0,01	0,01	0,00	-0,01	0,01	0,00
	-0,01	-0,01	0,02	-0,01	0,00	0,00	-0,01	0,00	0,02	0,01
V	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	-0,01	0,01	0,01
	-0,02	-0,01	0,02	-0,01	0,00	0,01	0,00	-0,01	0,02	0,00
	-0,01	0,00	0,02	-0,01	-0,01	0,00	-0,01	-0,01	0,01	0,00
Dílenský mikroskop										
S	-0,013	-0,003	0,014	-0,011	0,001	0,015	0,006	-0,011	0,012	0,004
	-0,004	0,002	0,019	-0,013	0,017	0,017	-0,003	-0,003	0,019	0,011
	-0,009	0,004	0,021	-0,01	0,006	0,007	0,001	0,002	0,009	0,009
V	0,004	0,010	0,014	0,007	0,005	0,003	0,014	-0,009	0,010	0,016
	-0,007	-0,005	0,020	0,009	-0,003	0,012	0,004	-0,001	0,020	0,019
	0,014	-0,002	0,014	-0,006	0,001	0,017	-0,003	-0,013	0,010	0,007

Tab A2) Naměřená data – Kohout rozměr číslo 8

Č. dílu/ Operátor	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Výškoměr										
S	0,03	0,05	-0,02	0,04	0,07	0,05	0,01	0,06	0,01	0,06
	0,02	0,06	-0,02	0,06	0,06	0,05	0,02	0,05	0,03	0,05
	0,03	0,05	-0,03	0,05	0,07	0,06	0,01	0,06	0,02	0,06
V	0,01	0,06	0,02	0,03	0,09	0,07	0,01	0,05	0,03	0,08
	-0,01	0,07	-0,04	0,03	0,07	0,08	0,01	0,02	-0,01	0,02
	0,00	0,06	-0,03	0,05	0,06	0,06	0,02	0,05	0,02	0,07
Dílenský mikroskop										
S	0,026	0,078	0,012	0,059	0,113	0,065	-0,005	0,063	0,036	0,080
	0,021	0,076	0,008	0,041	0,091	0,070	0,022	0,043	0,017	0,077
	0,036	0,084	0,003	0,061	0,102	0,084	0,019	0,056	0,023	0,086
V	0,036	0,065	0,001	0,032	0,090	0,068	0,010	0,055	0,047	0,071
	-0,008	0,034	-0,006	0,001	0,071	0,036	0,032	0,076	-0,019	0,095
	0,018	0,041	-0,003	0,021	0,089	0,048	0,029	0,069	0,009	0,097

Tab A3) Naměřená data – Kohout rozměr číslo 5

Č. dílu/ Operátor	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Výškoměr										
S	0,02	-0,02	-0,04	-0,08	-0,02	0,00	0,04	0,03	0,04	0,02
	0,02	-0,01	-0,05	-0,07	-0,03	0,01	0,03	0,00	0,02	0,02
	0,03	-0,02	-0,04	-0,06	-0,02	0,01	0,04	0,01	0,02	0,03
V	0,00	0,00	-0,05	-0,05	-0,02	0,06	0,05	0,03	0,03	0,03
	0,02	-0,01	-0,06	-0,04	-0,04	0,04	0,03	0,00	0,02	0,00
	0,01	-0,01	-0,05	-0,05	-0,03	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03
Dílenský mikroskop										
S	0,032	-0,007	-0,049	-0,052	-0,023	0,081	0,058	0,033	0,031	0,041
	0,031	-0,006	-0,025	-0,058	-0,023	0,07	0,047	0,053	0,045	0,029
	0,043	-0,012	-0,034	-0,041	-0,027	0,074	0,061	0,05	0,046	0,038
V	0,048	-0,026	-0,066	-0,001	-0,05	0,049	0,067	0,066	0,046	0,040
	0,069	0,005	-0,022	-0,024	-0,014	0,067	0,047	0,035	0,066	0,041
	0,051	-0,002	-0,009	-0,018	-0,03	0,051	0,069	0,070	0,050	0,051

Tab A4) Naměřená data – Spoušť rozměr číslo 5

Č. dílu/ Operátor	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Výškoměr										
S	0,05	0,06	0,10	0,08	0,09	0,02	0,04	0,00	-0,02	0,04
	0,03	0,05	0,10	0,08	0,06	0,03	0,03	-0,02	0,03	0,03
	0,04	0,05	0,09	0,07	0,10	0,02	0,03	-0,01	0,04	0,05
V	0,04	0,04	0,08	0,10	0,07	0,03	0,02	-0,03	0,00	0,02
	0,04	0,03	0,09	0,09	0,07	0,02	0,02	-0,03	0,03	0,00
	0,05	0,04	0,07	0,08	0,07	0,03	0,03	-0,02	0,02	0,01
Dílenský mikroskop										
S	0,036	0,041	0,097	0,081	0,084	0,022	-0,001	-0,012	0,000	0,022
	0,034	0,036	0,057	0,054	0,027	0,009	0,002	-0,070	-0,046	0,005
	0,040	0,045	0,049	0,053	0,070	0,014	0,010	-0,020	-0,021	0,015
V	0,058	0,054	0,105	0,088	0,072	0,015	0,004	-0,027	-0,015	0,010
	0,019	0,022	0,067	0,037	0,023	0,005	-0,021	-0,025	-0,051	-0,014
	0,039	0,061	0,093	0,048	0,069	0,020	0,009	-0,030	-0,035	0,016

Tab A5) Naměřená data – Spoušť rozměr číslo 6

Č. dílu/ Operátor	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Výškoměr										
S	-0,06	-0,21	-0,04	-0,12	-0,11	-0,15	0,00	-0,18	-0,08	-0,20
	-0,05	-0,19	-0,05	-0,12	-0,08	-0,14	0,00	-0,15	-0,07	-0,19
	-0,04	-0,15	-0,06	-0,13	-0,09	-0,19	-0,01	-0,17	-0,06	-0,22
	-0,05	-0,22	-0,06	-0,11	-0,10	-0,13	-0,02	-0,16	-0,07	-0,21
V	-0,08	-0,18	-0,05	-0,13	-0,10	-0,13	-0,01	-0,17	-0,08	-0,21
	-0,05	-0,19	-0,06	-0,12	-0,09	-0,14	-0,01	-0,15	-0,07	-0,20
Dílenský mikroskop										
S	-0,059	-0,268	-0,099	-0,124	-0,087	-0,168	-0,034	-0,201	-0,160	-0,214
	-0,061	-0,236	-0,041	-0,127	-0,098	-0,080	-0,023	-0,186	-0,098	-0,211
	-0,065	-0,271	-0,057	-0,134	-0,101	-0,124	-0,028	-0,195	-0,087	-0,224
	-0,078	-0,259	-0,162	-0,158	-0,139	-0,173	0,011	-0,196	-0,126	-0,210
V	-0,018	-0,274	-0,026	-0,130	-0,115	-0,126	-0,022	-0,168	-0,088	-0,226
	-0,034	-0,269	-0,076	-0,123	-0,129	-0,098	-0,018	-0,169	-0,145	-0,235

B VÝSLEDKY ANALÝZY GRR VE FIRMĚ

1. Kohout rozměr číslo 5

Gage R&R Study: Data versus Díl; Operátor; Měřidlo

Factor Information

Factor	Type	Levels	Values
Díl	random	10	1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10
Operátor	random	2	S; V
Měřidlo	fixed	2	Mikroskop; Výškoměr

ANOVA Table with All Terms

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Díl	9	0,1489220	0,1489220	0,0165469	27,36	0,000 x
Operátor	1	0,0011408	0,0011408	0,0011408	6,71	0,093 x
Měřidlo	1	0,0124440	0,0124440	0,0124440	34,65	0,002 x
Díl*Operátor	9	0,0025782	0,0025782	0,0002865	1,82	0,075
Díl*Měřidlo	9	0,0042793	0,0042793	0,0004755	3,02	0,003
Operátor*Měřidlo	1	0,0000408	0,0000408	0,0000408	0,26	0,612
Repeatability	89	0,0139922	0,0139922	0,0001572		
Total	119	0,1833973				

x Not an exact F-test.

α to remove interaction term = 0,05

ANOVA Table with Terms Used for Gage R&R Calculations

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Díl	9	0,1489220	0,1489220	0,0165469	34,80	0,000
Operátor	1	0,0011408	0,0011408	0,0011408	6,80	0,011
Měřidlo	1	0,0124440	0,0124440	0,0124440	26,17	0,001
Díl*Měřidlo	9	0,0042793	0,0042793	0,0004755	2,83	0,005
Repeatability	99	0,0166112	0,0166112	0,0001678		
Total	119	0,1833973				

Variance Components

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0,0003390	20,20
Repeatability	0,0001678	10,00
Reproducibility	0,0001712	10,20
Operátor	0,0000162	0,97
Měřidlo	0,0001037	6,18
Díl*Měřidlo	0,0000513	3,06
Part-To-Part	0,0013393	79,80
Díl	0,0013393	79,80
Total Variation	0,0016783	100,00

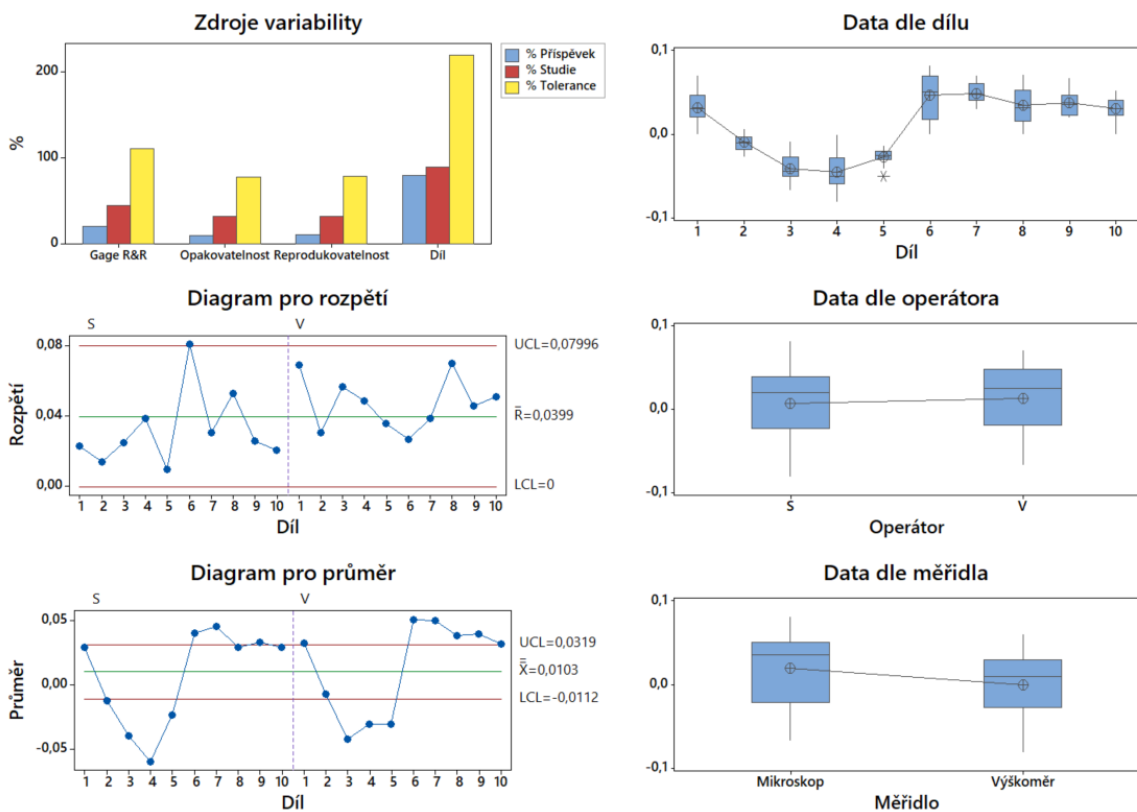
Process tolerance = 0,1

Gage Evaluation

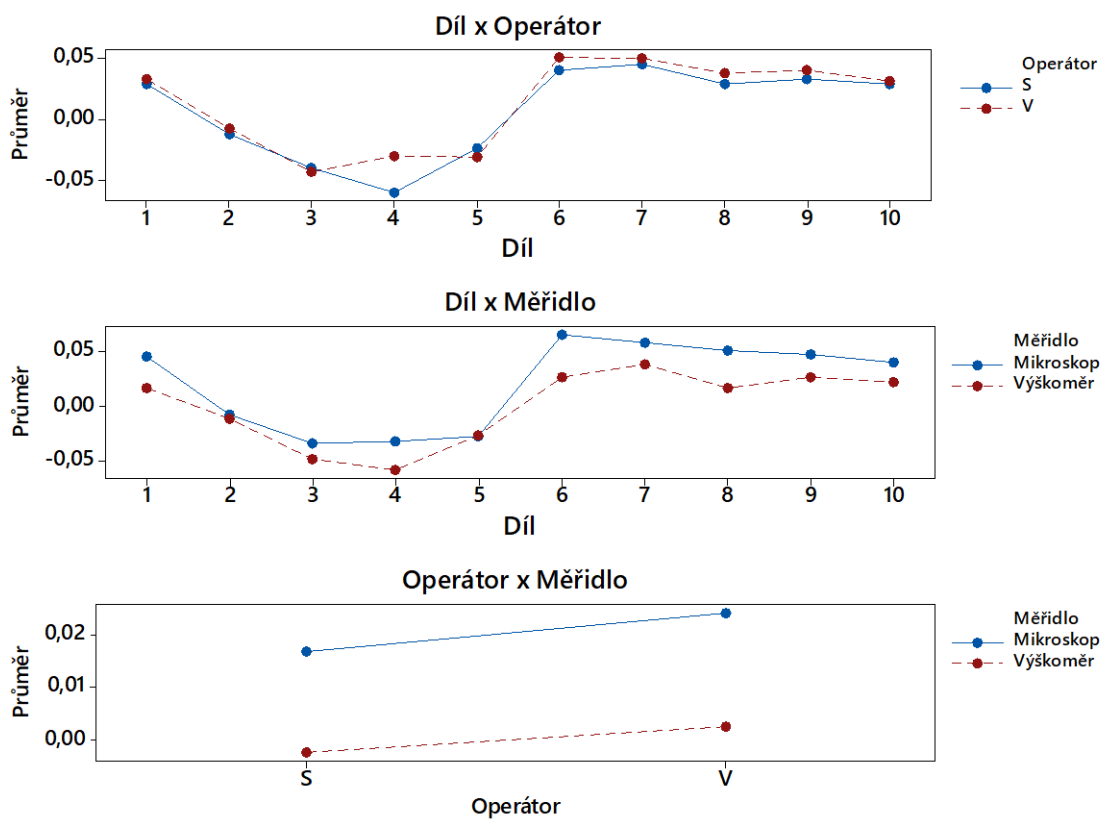
Source	StdDev (SD)	Study Var (6 * SD)	%Study Var (%SV)	%Tolerance (SV/Toler)
Total Gage R&R	0,0184116	0,110470	44,94	110,47
Repeatability	0,0129534	0,077720	31,62	77,72
Reproducibility	0,0130843	0,078506	31,94	78,51
Operátor	0,0040271	0,024162	9,83	24,16
Měřidlo	0,0101833	0,061100	24,86	61,10
Díl*Měřidlo	0,0071611	0,042967	17,48	42,97
Part-To-Part	0,0365962	0,219577	89,33	219,58
Díl	0,0365962	0,219577	89,33	219,58
Total Variation	0,0409667	0,245800	100,00	245,80

Number of Distinct Categories = 2

Grafická analýza Kohout - rozměr číslo 5



Interakce



2. Kohout rozměr číslo 8

Gage R&R Study: Data versus Díl; Operátor; Měřidlo

Factor Information

Factor	Type	Levels	Values
Díl	random	10	1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10
Operátor	random	2	S; V
Měřidlo	fixed	2	Mikroskop; Výškoměr

ANOVA Table with All Terms

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Díl	9	0,0925435	0,0925435	0,0102826	23,09	0,000 x
Operátor	1	0,0014145	0,0014145	0,0014145	2,09	0,359 x
Měřidlo	1	0,0028227	0,0028227	0,0028227	3,60	0,234 x
Díl*Operátor	9	0,0024920	0,0024920	0,0002769	1,27	0,263
Díl*Měřidlo	9	0,0034748	0,0034748	0,0003861	1,77	0,084
Operátor*Měřidlo	1	0,0006165	0,0006165	0,0006165	2,83	0,096
Repeatability	89	0,0193760	0,0193760	0,0002177		
Total	119	0,1227400				

x Not an exact F-test.

α to remove interaction term = 0,05

ANOVA Table with Terms Used for Gage R&R Calculations

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Díl	9	0,0925435	0,0925435	0,0102826	42,78	0,000
Operátor	1	0,0014145	0,0014145	0,0014145	5,88	0,017
Měřidlo	1	0,0028227	0,0028227	0,0028227	11,74	0,001
Repeatability	108	0,0259593	0,0259593	0,0002404		
Total	119	0,1227400				

Variance Components

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0,0002835	25,30
Repeatability	0,0002404	21,46
Reproducibility	0,0000431	3,85
Operátor	0,0000196	1,75
Měřidlo	0,0000235	2,10
Part-To-Part	0,0008369	74,70
Díl	0,0008369	74,70
Total Variation	0,0011203	100,00

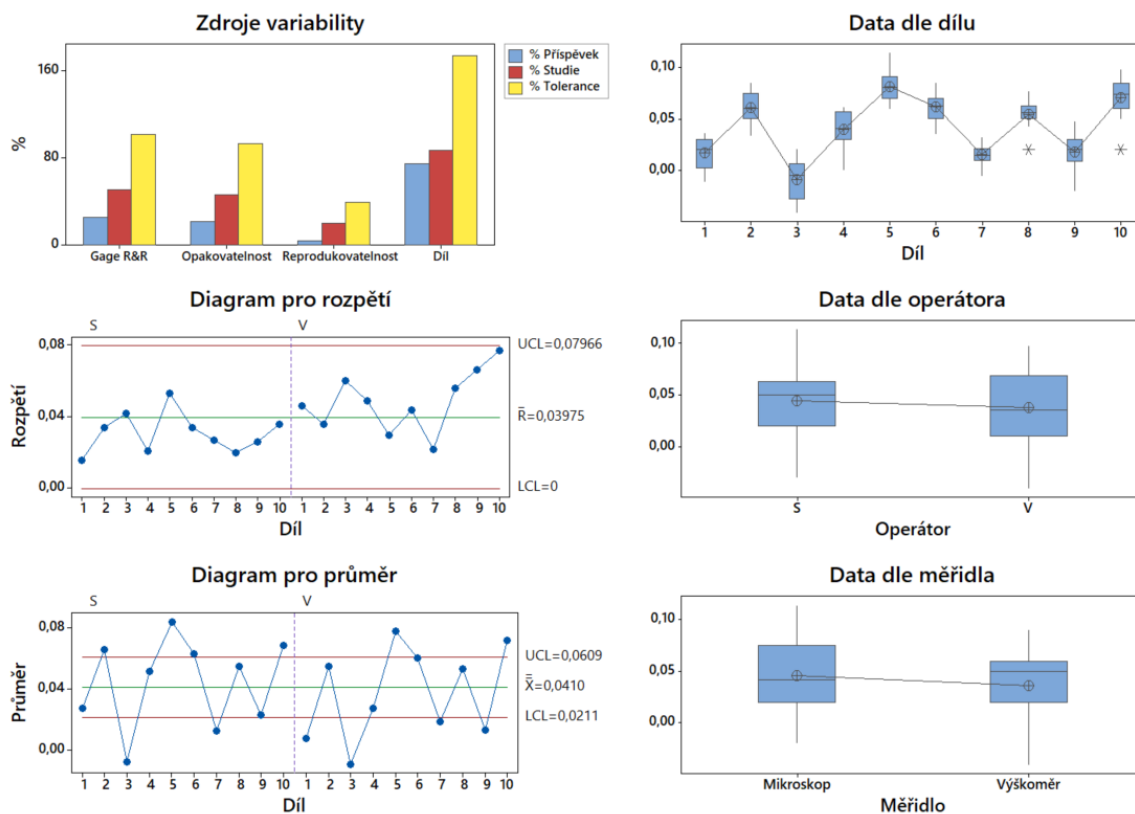
Process tolerance = 0,1

Gage Evaluation

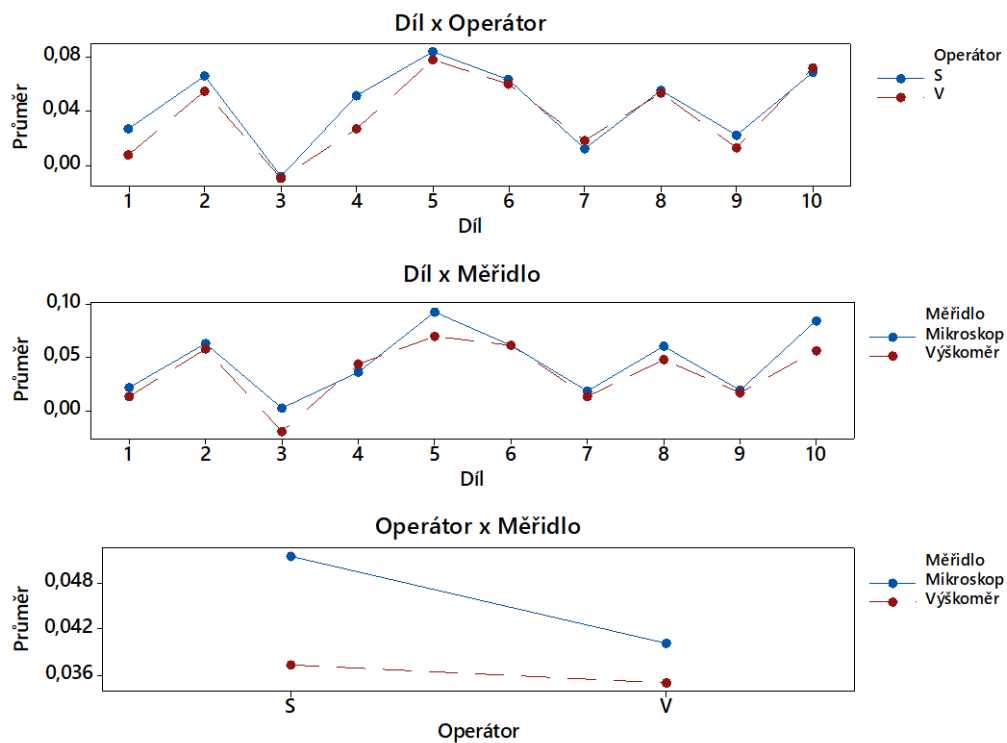
Source	StdDev (SD)	Study Var (6 × SD)	%Study Var (%SV)	%Tolerance (SV/Toler)
Total Gage R&R	0,0168361	0,101017	50,30	101,02
Repeatability	0,0155037	0,093022	46,32	93,02
Reproducibility	0,0065644	0,039387	19,61	39,39
Operátor	0,0044237	0,026542	13,22	26,54
Měřidlo	0,0048500	0,029100	14,49	29,10
Part-To-Part	0,0289284	0,173571	86,43	173,57
Díl	0,0289284	0,173571	86,43	173,57
Total Variation	0,0334710	0,200826	100,00	200,83

Number of Distinct Categories = 2

Grafická analýza Kohout - rozměr číslo 8



Interakce



3. Kohout rozměr číslo 9

Gage R&R Study: Data versus Díl; Operátor; Měřidlo

Factor Information

Factor	Type	Levels	Values
Díl	random	10	1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10
Operátor	random	2	S; V
Měřidlo	fixed	2	Mikroskop; Výškoměr

ANOVA Table with All Terms

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Díl	9	0,0081223	0,0081223	0,0009025	11,49	0,003 x
Operátor	1	0,0000608	0,0000608	0,0000608	0,90	0,398 x
Měřidlo	1	0,0006413	0,0006413	0,0006413	85,18	0,581 x
Díl*Operátor	9	0,0007937	0,0007937	0,000882	2,31	0,022
Díl*Měřidlo	9	0,0002566	0,0002566	0,000285	0,75	0,665
Operátor*Měřidlo	1	0,0000172	0,0000172	0,0000172	0,45	0,504
Repeatability	89	0,0033959	0,0033959	0,000382		
Total	119	0,0132876				

x Not an exact F-test.

α to remove interaction term = 0,05

ANOVA Table with Terms Used for Gage R&R Calculations

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Díl	9	0,0081223	0,0081223	0,0009025	10,23	0,001
Operátor	1	0,0000608	0,0000608	0,0000608	0,69	0,428
Měřidlo	1	0,0006413	0,0006413	0,0006413	17,30	0,000
Díl*Operátor	9	0,0007937	0,0007937	0,000882	2,38	0,018
Repeatability	99	0,0036696	0,0036696	0,0000371		
Total	119	0,0132876				

Variance Components

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0,0000509	42,87
Repeatability	0,0000371	31,20
Reproducibility	0,0000139	11,67
Operátor	0,0000000	0,00
Měřidlo	0,0000053	4,50
Díl*Operátor	0,0000085	7,17
Part-To-Part	0,0000679	57,13
Díl	0,0000679	57,13
Total Variation	0,0001188	100,00

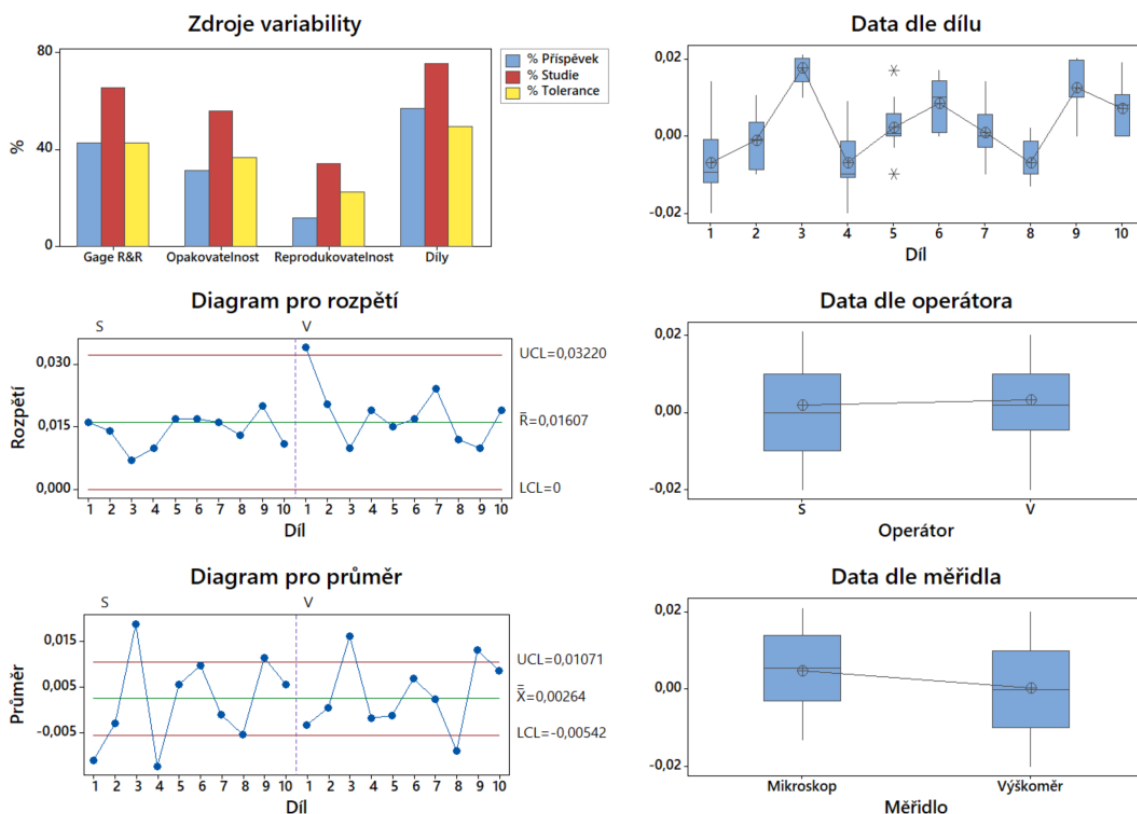
Process tolerance = 0,1

Gage Evaluation

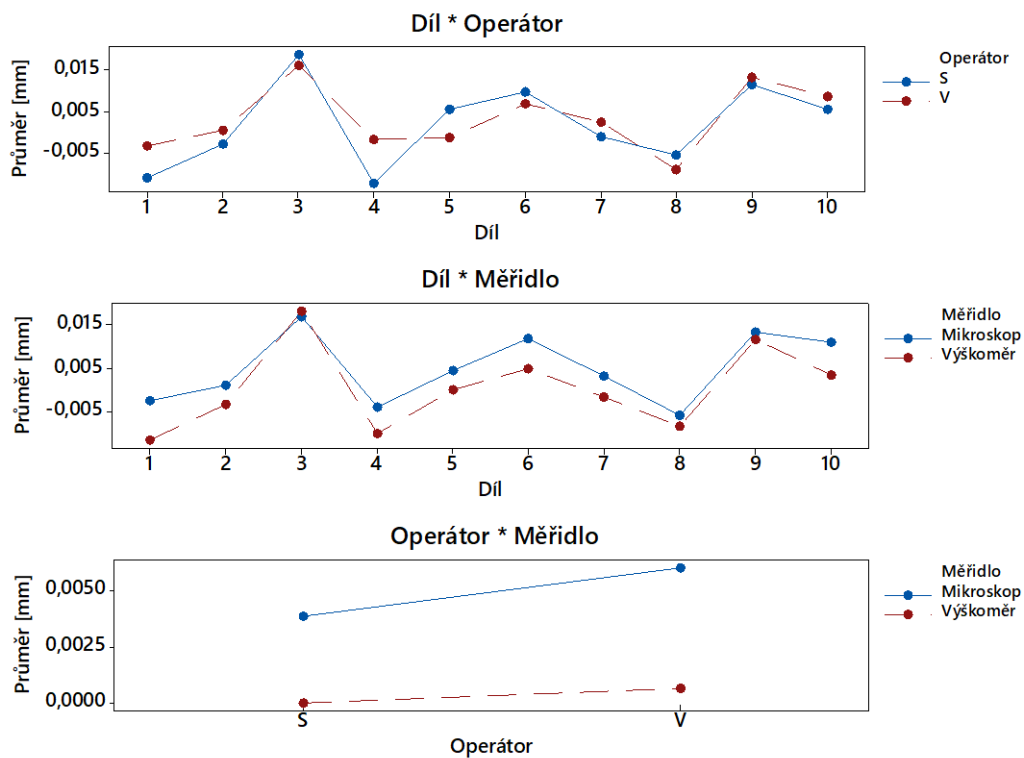
Source	StdDev (SD)	Study Var (6 * SD)	%Study Var (%SV)	%Tolerance (SV/Toler)
Total Gage R&R	0,0071366	0,0428193	65,48	42,82
Repeatability	0,0060883	0,0365297	55,86	36,53
Reproducibility	0,0037233	0,0223400	34,16	22,34
Operátor	0,0000000	0,0000000	0,00	0,00
Měřidlo	0,0023117	0,0138700	21,21	13,87
Díl*Operátor	0,0029188	0,0175128	26,78	17,51
Part-To-Part	0,0082376	0,0494255	75,58	49,43
Díl	0,0082376	0,0494255	75,58	49,43
Total Variation	0,0108990	0,0653940	100,00	65,39

Number of Distinct Categories = 1

Grafická analýza Kohout - rozměr číslo 9



Interakce



4. Spoušť rozměr číslo 5

Gage R&R Study: Data versus Díl; Operátor; Měřidlo

Factor Information

Factor	Type	Levels	Values
Díl	random	10	1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10
Operátor	random	2	S; V
Měřidlo	fixed	2	Mikroskop; Výškoměr

ANOVA Table with All Terms

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Díl	9	0,1311451	0,1311451	0,0145717	36,87	0,000 x
Operátor	1	0,0005941	0,0005941	0,0005941	1,60	0,496 x
Měřidlo	1	0,0086870	0,0086870	0,0086870	12,63	0,068 x
Díl*Operátor	9	0,0014377	0,0014377	0,0001597	0,66	0,740
Díl*Měřidlo	9	0,0042894	0,0042894	0,0004766	1,98	0,051
Operátor*Měřidlo	1	0,0004524	0,0004524	0,0004524	1,88	0,174
Repeatability	89	0,0214573	0,0214573	0,0002411		
Total	119	0,1680630				

x Not an exact F-test.

α to remove interaction term = 0,05

ANOVA Table with Terms Used for Gage R&R Calculations

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Díl	9	0,1311451	0,1311451	0,0145717	30,57	0,000
Operátor	1	0,0005941	0,0005941	0,0005941	2,52	0,116
Měřidlo	1	0,0086870	0,0086870	0,0086870	18,23	0,002
Díl*Měřidlo	9	0,0042894	0,0042894	0,0004766	2,02	0,045
Repeatability	99	0,0233474	0,0233474	0,0002358		
Total	119	0,1680630				

Variance Components

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0,0003543	23,17
Repeatability	0,0002358	15,42
Reproducibility	0,0001185	7,75
Operátor	0,0000060	0,39
Měřidlo	0,0000724	4,73
Díl*Měřidlo	0,0000401	2,62
Part-To-Part	0,0011746	76,83
Díl	0,0011746	76,83
Total Variation	0,0015289	100,00

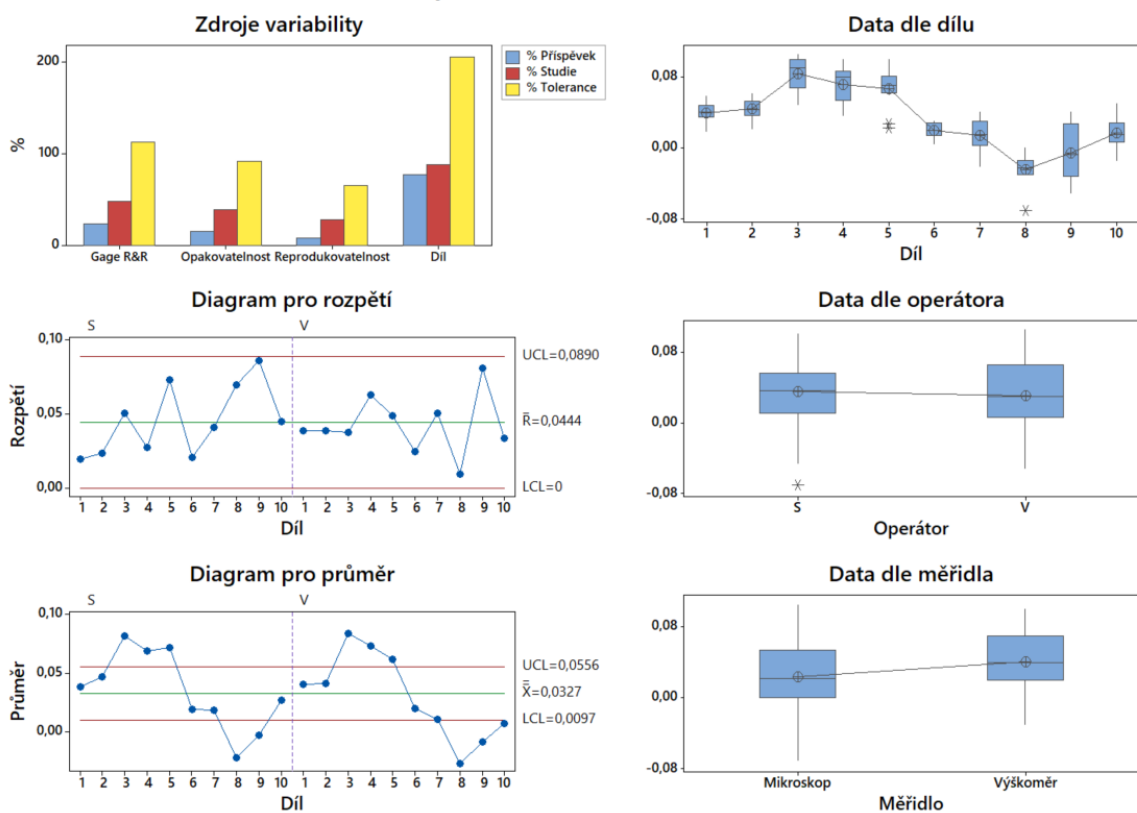
Process tolerance = 0,1

Gage Evaluation

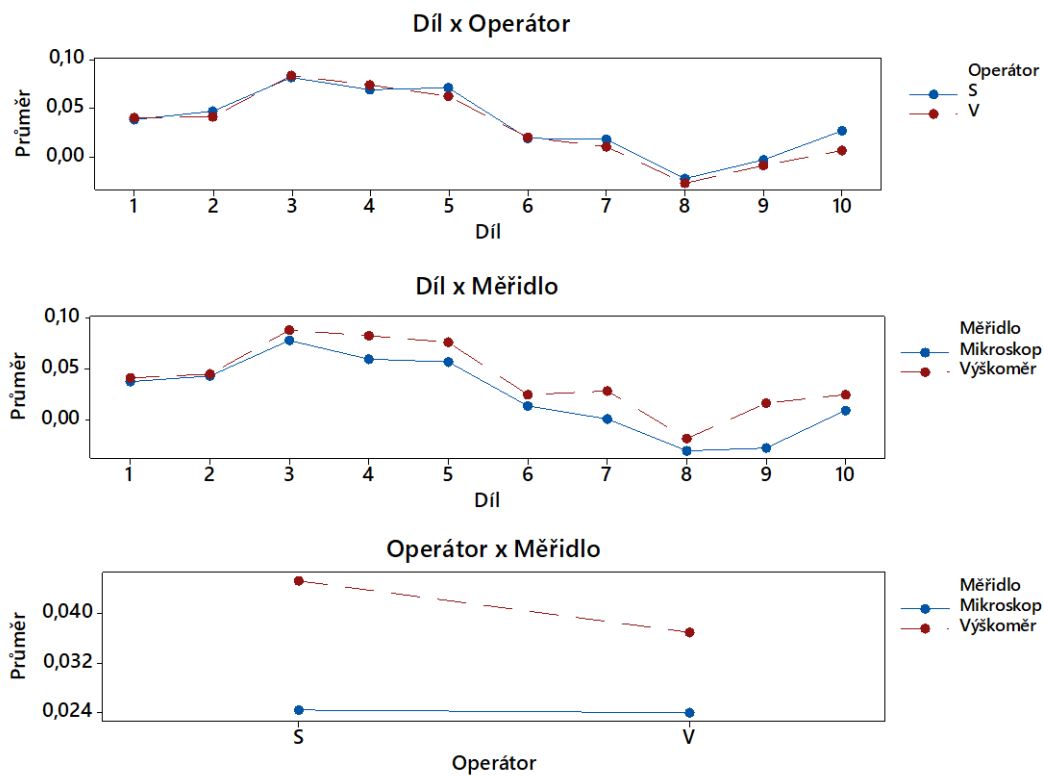
Source	StdDev (SD)	Study Var (6 × SD)	%Study Var (%SV)	%Tolerance (SV/Toler)
Total Gage R&R	0,0188235	0,112941	48,14	112,94
Repeatability	0,0153568	0,092141	39,27	92,14
Reproducibility	0,0108853	0,065312	27,84	65,31
Operátor	0,0024435	0,014661	6,25	14,66
Měřidlo	0,0085083	0,051050	21,76	51,05
Díl*Měřidlo	0,0063347	0,038008	16,20	38,01
Part-To-Part	0,0342723	0,205634	87,65	205,63
Díl	0,0342723	0,205634	87,65	205,63
Total Variation	0,0391013	0,234608	100,00	234,61

Number of Distinct Categories = 2

Grafická analýza Spoušť - rozměr číslo 5



Interakce



5. Spoušť rozměr číslo 6

Gage R&R Study: Data versus Díl; Operátor; Měřidlo

Factor Information

Factor	Type	Levels	Values
Díl	random	10	1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10
Operátor	random	2	S; V
Měřidlo	fixed	2	Mikroskop; Výškoměr

ANOVA Table with All Terms

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Díl	9	0,514236	0,514236	0,057137	32,78	0,000 x
Operátor	1	0,000206	0,000206	0,000206	**	
Měřidlo	1	0,011588	0,011588	0,011588	7,74	0,034 x
Díl*Operátor	9	0,002663	0,002663	0,000296	0,67	0,734
Díl*Měřidlo	9	0,016998	0,016998	0,001889	4,28	0,000
Operátor*Měřidlo	1	0,000050	0,000050	0,000050	0,11	0,738
Repeatability	89	0,039303	0,039303	0,000442		
Total	119	0,585043				

x Not an exact F-test.

* Denominator of F-test is zero or undefined.

α to remove interaction term = 0,05

ANOVA Table with Terms Used for Gage R&R Calculations

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Díl	9	0,514236	0,514236	0,057137	30,25	0,000
Operátor	1	0,000206	0,000206	0,000206	0,49	0,488
Měřidlo	1	0,011588	0,011588	0,011588	6,14	0,035
Díl*Měřidlo	9	0,016998	0,016998	0,001889	4,45	0,000
Repeatability	99	0,042016	0,042016	0,000424		
Total	119	0,585043				

Variance Components

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0,0007650	14,25
Repeatability	0,0004244	7,90
Reproducibility	0,0003406	6,34
Operátor	0,0000000	0,00
Měřidlo	0,0000966	1,80
Díl*Měřidlo	0,0002440	4,55
Part-To-Part	0,0046041	85,75
Díl	0,0046041	85,75
Total Variation	0,0053691	100,00

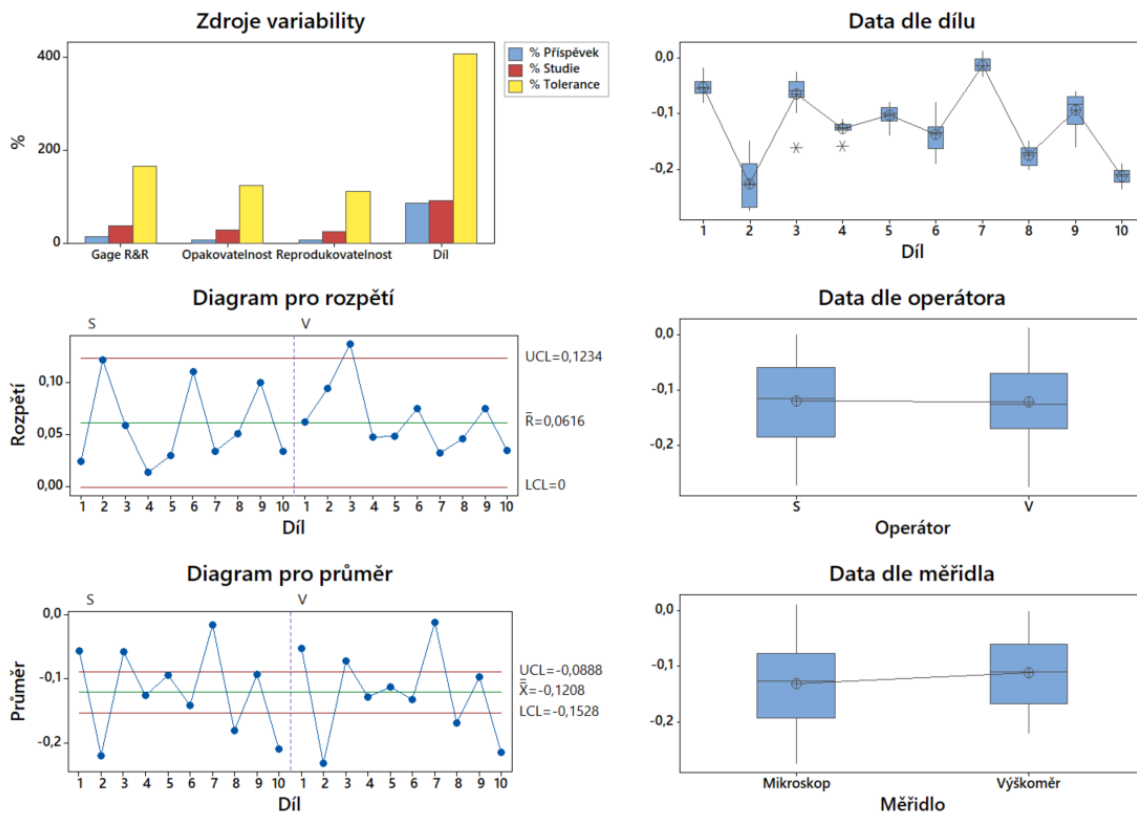
Process tolerance = 0,1

Gage Evaluation

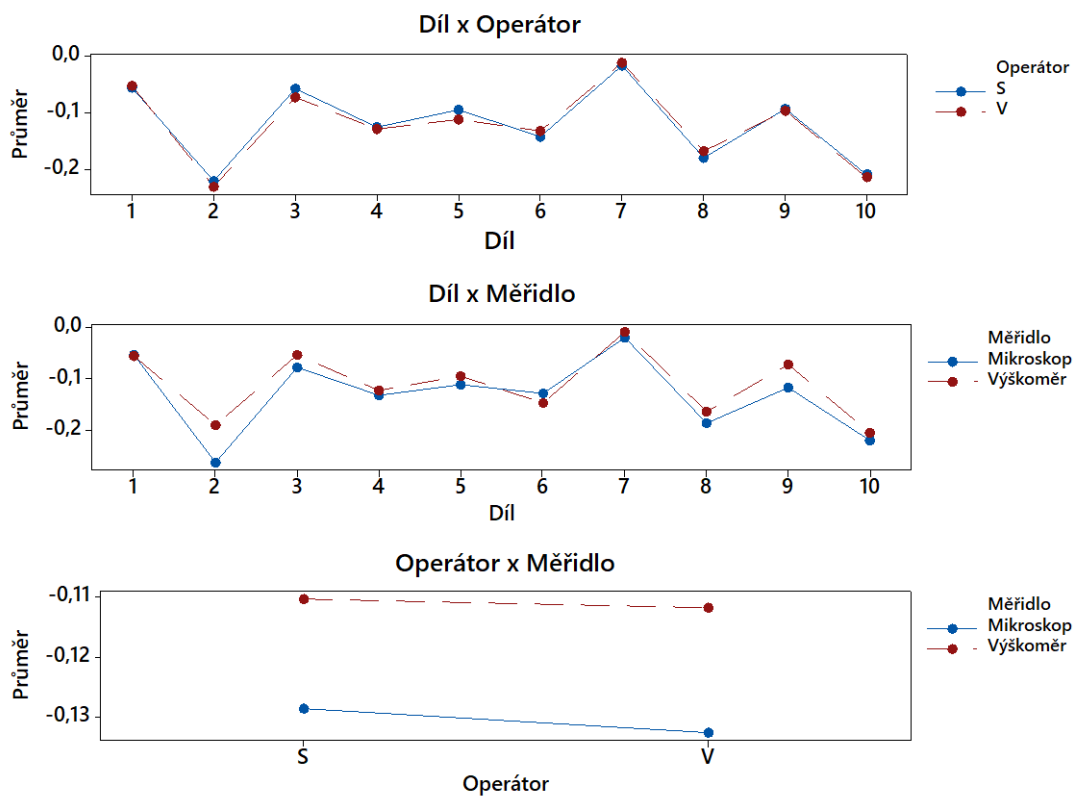
Source	StdDev (SD)	Study Var (6 × SD)	%Study Var (%SV)	%Tolerance (SV/Toler)
Total Gage R&R	0,0276588	0,165953	37,75	165,95
Repeatability	0,0206010	0,123606	28,12	123,61
Reproducibility	0,0184555	0,110733	25,19	110,73
Operátor	0,0000000	0,000000	0,00	0,00
Měřidlo	0,0098267	0,058960	13,41	58,96
Díl*Měřidlo	0,0156219	0,093731	21,32	93,73
Part-To-Part	0,0678532	0,407119	92,60	407,12
Díl	0,0678532	0,407119	92,60	407,12
Total Variation	0,0732739	0,439643	100,00	439,64

Number of Distinct Categories = 3

Grafická analýza Spoušť - rozměr číslo 6



Interakce



C NAMĚŘENÁ DATA KEYENCE IM-7020

Tab C1) Naměřená data – Kohout rozměr číslo 5

Č. dílu/ Operátor	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	0,123	0,017	-0,052	0,003	0,034	0,145	0,053	0,007	-0,02	0,024
	0,122	0,017	-0,053	0,001	0,035	0,145	0,052	0,006	-0,017	0,014
	0,048	-0,001	-0,066	-0,01	0,028	0,116	-0,009	0,045	-0,01	-0,001

D VÝSLEDKY ANALÝZY GRR KEYENCE IM-7020

Kohout rozměr číslo 5

Gage R&R Study - ANOVA Method

* NOTE * There are no operator values, or they are all the same. The operator factor will be omitted from the analysis.

One-Way ANOVA Table

Source	DF	SS	MS	F	P
Díl	9	0,0810855	0,0090095	20,9377	0,000
Repeatability	20	0,0086060	0,0004303		
Total	29	0,0896915			

α to remove interaction term = 0,05

Gage R&R

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0,0004303	13,08
Repeatability	0,0004303	13,08
Part-To-Part	0,0028597	86,92
Total Variation	0,0032900	100,00

Process tolerance = 0,1

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 × SD)	%Study Var (%SV)	%Tolerance (SV/Toler)
Total Gage R&R	0,0207437	0,124462	36,16	124,46
Repeatability	0,0207437	0,124462	36,16	124,46
Part-To-Part	0,0534765	0,320859	93,23	320,86
Total Variation	0,0573588	0,344153	100,00	344,15

Number of Distinct Categories = 3

Grafická analýza - Keyence Kohout - rozměr číslo 5

Zdroje variability

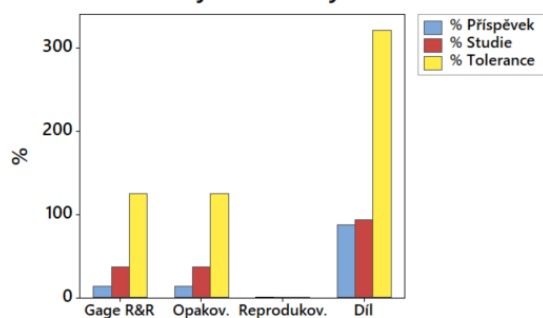
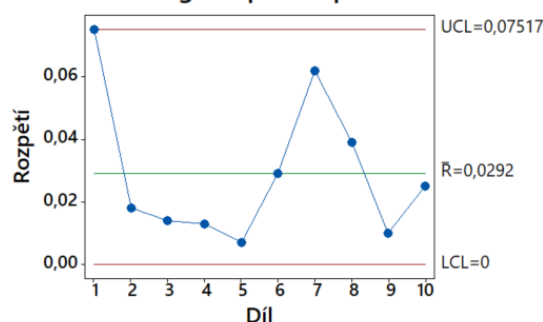


Diagram pro rozpětí



Data dle dílu

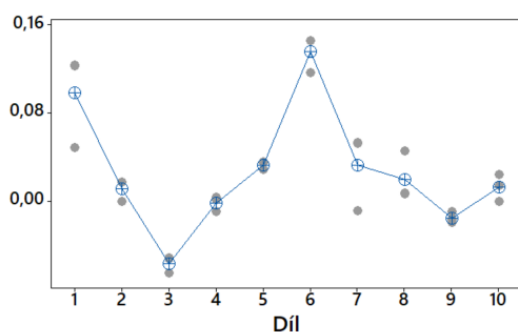
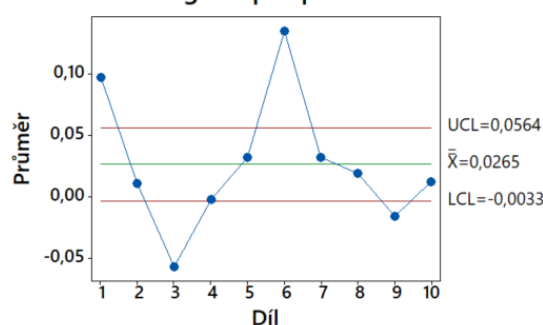


Diagram pro průměr



E NAMĚŘENÁ DATA DEMEET 220

Tab E1) Naměřená data – Kohout rozměr číslo 5

Č. dílu/ Operátor	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	-0,0149	-0,0597	-0,0385	-0,1056	-0,0617	0,0825	0,0441	0,0008	0,0328	0,0414
	-0,0033	-0,0562	-0,0439	-0,081	-0,0585	0,0901	0,0436	-0,0073	0,021	0,0455
	-0,0176	-0,0598	-0,0422	-0,1042	-0,0609	0,0921	0,0355	0,0083	0,0354	0,0338
	0,0076	-0,0389	-0,0561	-0,0803	-0,0654	0,0831	0,0198	-0,0195	0,0388	0,0299
B	0,0049	-0,0422	-0,0568	-0,079	-0,0654	0,0849	0,0232	-0,018	0,0383	0,0295
	0,0052	-0,0417	-0,0552	-0,0785	-0,065	0,0837	0,0225	-0,0185	0,038	0,0297

Tab E2) Naměřená data – Spoušť rozměr číslo 5

Č. dílu/ Operátor	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	-0,0149	-0,0597	-0,0385	-0,1056	-0,0617	0,0825	0,0441	0,0008	0,0328	0,0414
	-0,0033	-0,0562	-0,0439	-0,081	-0,0585	0,0901	0,0436	-0,0073	0,021	0,0455
	-0,0176	-0,0598	-0,0422	-0,1042	-0,0609	0,0921	0,0355	0,0083	0,0354	0,0338
	0,0076	-0,0389	-0,0561	-0,0803	-0,0654	0,0831	0,0198	-0,0195	0,0388	0,0299
B	0,0049	-0,0422	-0,0568	-0,079	-0,0654	0,0849	0,0232	-0,018	0,0383	0,0295
	0,0052	-0,0417	-0,0552	-0,0785	-0,065	0,0837	0,0225	-0,0185	0,038	0,0297

Tab E3) Naměřená data – Spoušť rozměr číslo 6

Č. dílu/ Operátor	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	0,2086	0,1814	0,1442	0,1715	0,1362	0,1126	0,1514	0,123	0,1701	0,0816
	0,206	0,1779	0,1442	0,1747	0,1375	0,1061	0,1507	0,1183	0,1515	0,0811
	0,2087	0,1799	0,1429	0,1718	0,132	0,112	0,1506	0,129	0,1587	0,0831
	0,2045	0,1765	0,1306	0,1794	0,1489	0,1189	0,1578	0,1193	0,1648	0,1098
B	0,2148	0,1749	0,1398	0,1848	0,1403	0,1124	0,1497	0,1248	0,1721	0,0964
	0,2139	0,1641	0,1315	0,1768	0,1414	0,1154	0,1488	0,1332	0,1632	0,0948

F VÝSLEDKY ANALÝZY GRR DEMEET 220

1. Kohout rozměr číslo 5

Gage R&R Study - ANOVA Method

Two-Way ANOVA Table With Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Part	9	0,161219	0,0179132	50,9712	0,000
Operator	1	0,000018	0,0000181	0,0516	0,825
Part * Operator	9	0,003163	0,0003514	14,6755	0,000
Repeatability	40	0,000958	0,0000239		
Total	59	0,165358			

α to remove interaction term = 0,05

Gage R&R

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0,0001331	4,35
Repeatability	0,0000239	0,78
Reproducibility	0,0001092	3,57
Operator	0,0000000	0,00
Operator*Part	0,0001092	3,57
Part-To-Part	0,0029270	95,65
Total Variation	0,0030601	100,00

Process tolerance = 0,1

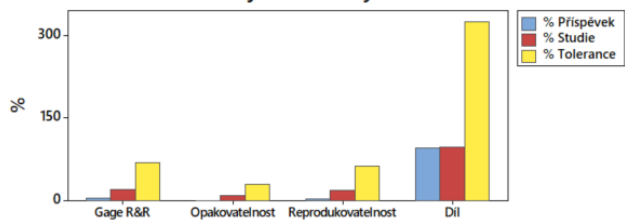
Source	StdDev (SD)	Study Var (6 * SD)	%Study Var (%SV)	%Tolerance (SV/Toler)
Total Gage R&R	0,0115374	0,069224	20,86	69,22
Repeatability	0,0048936	0,029362	8,85	29,36
Reproducibility	0,0104481	0,062689	18,89	62,69
Operator	0,0000000	0,000000	0,00	0,00
Operator*Part	0,0104481	0,062689	18,89	62,69
Part-To-Part	0,0541014	0,324608	97,80	324,61
Total Variation	0,0553179	0,331907	100,00	331,91

Number of Distinct Categories = 6

Grafická analýza - DeMeet 220

Kohout - rozměr číslo 5

Zdroje variability



Data dle dílu

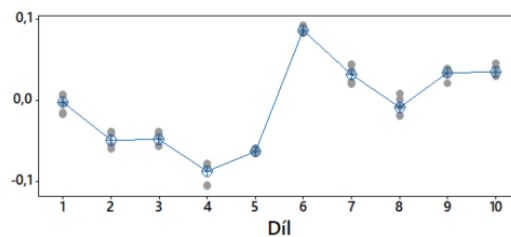
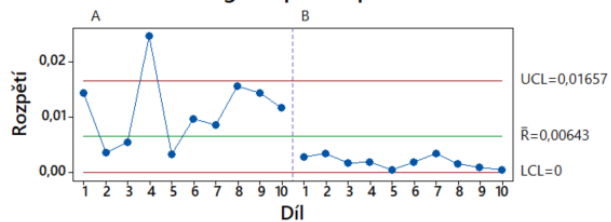


Diagram pro rozpětí



Data dle operátora

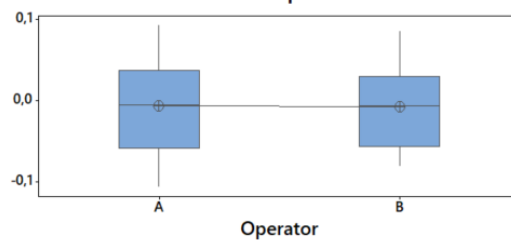
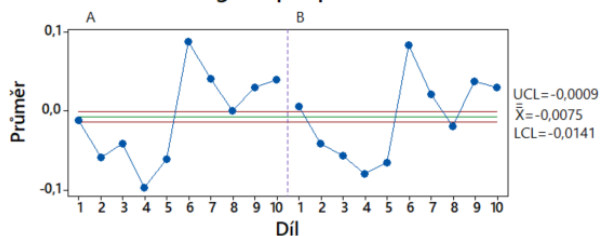
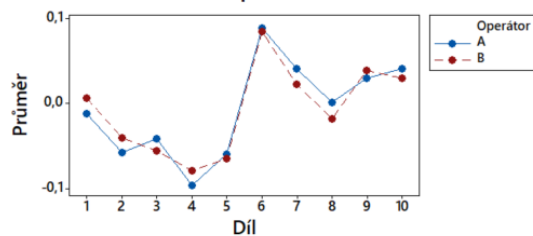


Diagram pro průměr



Díl x Operátor



2. Spoušť rozměr číslo 5

Gage R&R Study - ANOVA Method

Two-Way ANOVA Table With Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Díl	9	0,0529281	0,0058809	104,220	0,000
Operátor	1	0,0005916	0,0005916	10,484	0,010
Díl * Operátor	9	0,0005078	0,0000564	3,970	0,001
Repeatability	40	0,0005686	0,0000142		
Total	59	0,0545961			

α to remove interaction term = 0,05

Gage R&R

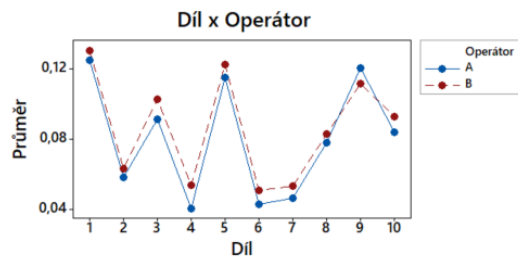
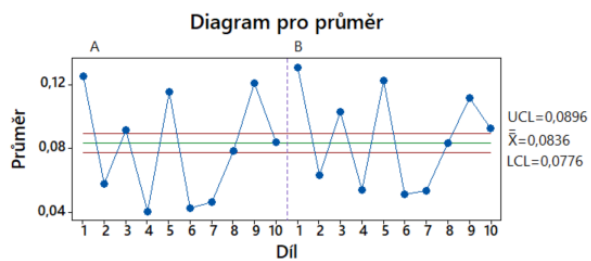
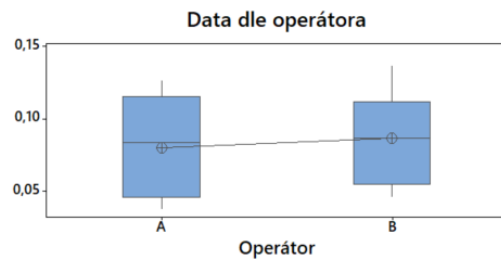
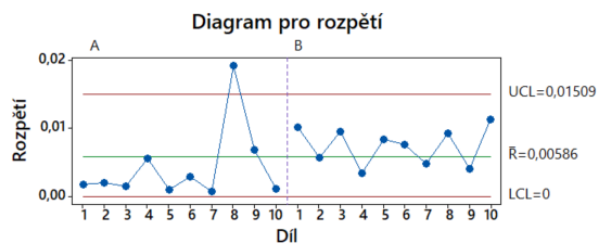
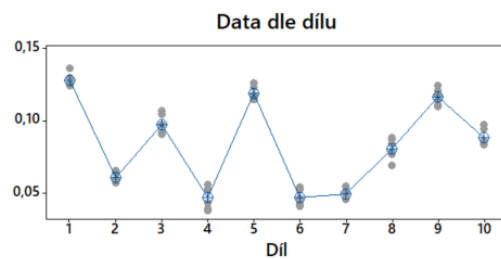
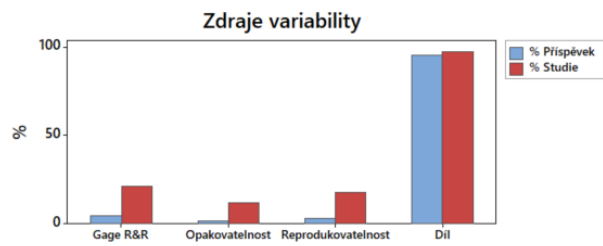
Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0,0000461	4,54
Repeatability	0,0000142	1,40
Reproducibility	0,0000319	3,14
Operátor	0,0000178	1,75
Operátor*Díl	0,0000141	1,38
Part-To-Part	0,0009707	95,46
Total Variation	0,0010169	100,00

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 × SD)	%Study Var (%SV)
Total Gage R&R	0,0067914	0,040749	21,30
Repeatability	0,0037701	0,022621	11,82
Reproducibility	0,0056488	0,033893	17,71
Operátor	0,0042235	0,025341	13,24
Operátor*Díl	0,0037512	0,022507	11,76
Part-To-Part	0,0311568	0,186941	97,71
Total Variation	0,0318884	0,191330	100,00

Number of Distinct Categories = 6

Grafická analýza - DeMeet 220

Spoušť - rozměr číslo 5



3. Spoušť rozměr číslo 6

Gage R&R Study - ANOVA Method

Two-Way ANOVA Table With Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Díl	9	0,0646525	0,0071836	73,1896	0,000
Operátor	1	0,0001883	0,0001883	1,9188	0,199
Díl * Operátor	9	0,0008834	0,0000982	4,2205	0,001
Repeatability	40	0,0009302	0,0000233		
Total	59	0,0666544			

α to remove interaction term = 0,05

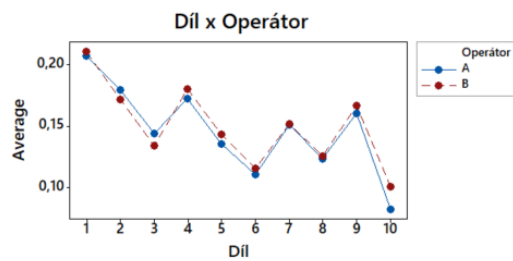
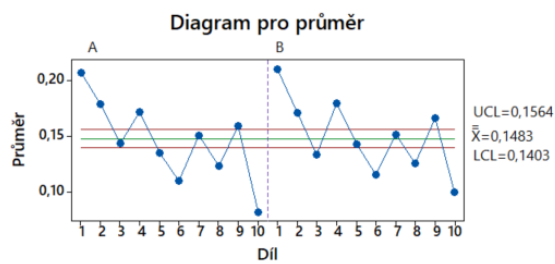
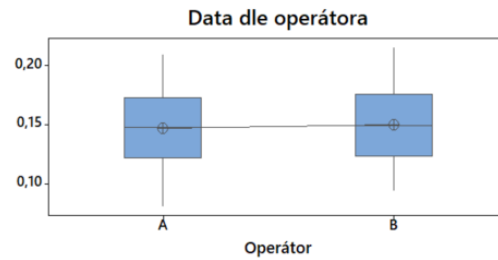
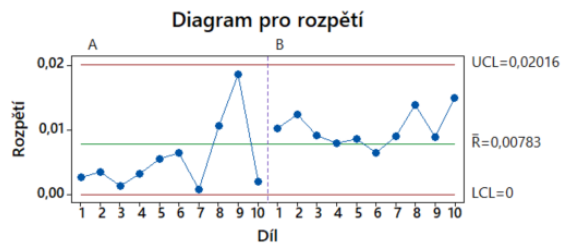
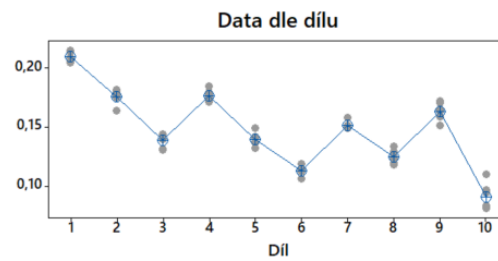
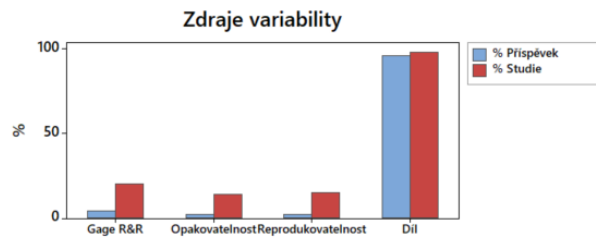
Gage R&R

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0,0000512	4,16
Repeatability	0,0000233	1,89
Reproducibility	0,0000280	2,27
Operátor	0,0000030	0,24
Operátor*Díl	0,0000250	2,03
Part-To-Part	0,0011809	95,84
Total Variation	0,0012321	100,00

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 × SD)	%Study Var (%SV)
Total Gage R&R	0,0071573	0,042944	20,39
Repeatability	0,0048224	0,028934	13,74
Reproducibility	0,0052888	0,031733	15,07
Operátor	0,0017338	0,010403	4,94
Operátor*Díl	0,0049965	0,029979	14,23
Part-To-Part	0,0343644	0,206186	97,90
Total Variation	0,0351018	0,210611	100,00

Number of Distinct Categories = 6

Grafická analýza - DeMeet 220 Spoušť - rozměr číslo 6



G VYBAVENÍ ODDĚLENÍ TECHNICKÉ KONTROLY



Obr. G1) Výškoměr Mitutoyo s páčkovým úchylkoměrem [29]



Obr. G2) Dílenský mikroskop značky Carl Zeiss [29]



Obr. G3) Sada koncových měrek [29]



Obr. G4) Sada válečkových měrek 1,00 – 5,99 mm [29]



Obr. G5) Sada válečkových měrek 6,00 – 9,99 mm [29]



Obr. G6) Souřadnicový stroj DeMeet 400 [29]